



Universidad  
Carlos III de Madrid

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO FIN DE GRADO**

**LUMINARIA EFICIENTE DE LED DE BAJO PERFIL CON  
SISTEMA DE GUIADO ÓPTICO**

**Alumno: Juan Estanislao López García**

**Director: Carolina Álvarez Caldas**

**JULIO 2014**

## Agradecimientos

---

Mi agradecimiento más sincero a cuantos han contribuido a la elaboración del presente Trabajo Fin de Grado.

Al Presidente y miembros del Tribunal, por el tiempo dedicado a la lectura y reflexiones sobre mi proyecto.

A D<sup>a</sup>. Carolina Álvarez Caldas, un agradecimiento especial por su docta dirección, orientado el trabajo, asesorando en las investigaciones y corrigiendo los errores y omisiones.

Al Claustro de Profesores, sin el cual hubiera sido imposible alcanzar la meta a la que hoy hemos llegado.

A D. Manuel Ibáñez Martínez, mi maestro y orientador en las prácticas en el grupo ODEL-LUX, a quien tanto tengo que agradecer por haberme acogido desde el primer instante como un miembro más de la empresa.

A mis padres y hermana, por haber estado en todo momento a mi lado, estimulándome siempre que lo he necesitado.

# Resumen

---

El uso insostenible de los recursos energéticos globales así como su agotamiento en los últimos años ha conducido a las empresas de iluminación al uso y creación de productos enfocados hacia la eficiencia energética y el cuidado del medio ambiente.

El LED como tecnología eficiente en el campo de la iluminación permite aumentar las cantidades de luz de forma palpable con un consumo energético mucho menor que otras fuentes de iluminación. Esta tecnología basada en los semiconductores hacen de los LED una fuente fiable y duradera de luz.

El tema principal de este proyecto es la creación de una luminaria con tecnología LED basada en el guiado óptico de la luz. Dicha tecnología consiste en la proyección de la misma en dirección perpendicular a la producida por los LED, por medio de un metacrilato serigrafiado.

La ventaja principal del uso de este guiado en la creación de una luminaria es la reducción del espesor de la misma y la distribución uniforme de la luz a través de ésta, haciéndola más atractiva y reducida que con el uso único de los LED y de la óptica convencional.

Se realizará un estudio económico que cuantifique el ahorro energético con respecto a luminarias con tecnología anterior a la LED, y cuantas ventajas y como de rentable es esta luminaria con respecto a otras.

El proyecto constará además de una parte teórica sobre la luz, iluminación, luminarias etc. que ayudará a la comprensión del porqué de ese diseño en algunos componentes. Se centrará además en explicar el funcionamiento del guiado óptico y el por qué lo hace tan novedosa.

Palabras clave:

- Guiado óptico
- Luminaria
- Eficiencia energética

# Abstract

---

The unsustainable use of global energy resources and their depletion in recent years have encouraged lighting companies to develop and utilise more energy-efficient and environmentally friendly products.

LEDs represent a very efficient technological advancement in the lighting sector, allowing for an increase in the amount of perceptible light at much lower energy consumption levels when compared with other types of lighting. LED technology, which is based on semi-conductors, permits the development of reliable and long-lasting light sources. .

The main topic of this project is the creation of a luminaire with LED technology based on an optical light guide. This technology involves the projection of light in a perpendicular direction to that produced by the LED, through the use of screen-printed methacrylate.

The principal advantages to the utilisation of the optical guide in the creation of the luminaire are its reduced thickness and the uniform light distribution which can be achieved, making the luminaire smaller and more attractive when compared to LEDs with a conventional lens.

An economic study will be carried out to quantify the energy savings with respect to luminaires using pre-LED technology, as well as to identify the advantages and savings which this luminaire offers when compared to others.

The project will also include a theoretical part addressing light, illumination, luminaires, etc. which will help explain the reason for this design in some components. The present paper will also explain the functioning of the optical guide and the reason why it represents such an innovation.

Key words:

- Optical guide
- Luminaire
- Energy efficiency

# Contenido

Capítulo 1.	Introducción .....	12
1.1	Introducción .....	12
1.2	Alcance .....	12
1.3	Antecedentes .....	12
1.4	Organización de la memoria .....	13
Capítulo 2.	Objetivos .....	15
Capítulo 3.	Capítulo 3. Conceptos teóricos previos.....	16
3.1	La luz.....	16
3.1.1	Magnitudes fotométricas .....	16
3.1.2	Magnitudes colorimétricas.....	23
3.1.3	Instrumentos de medida .....	27
3.2	Iluminación.....	29
3.2.1	Formas de Crear la Luz. ....	29
3.2.2	Tipos de iluminación .....	30
3.2.3	Fuentes de iluminación. Tipos de lámparas. ....	32
3.3	Iluminación eficiente (eficiencia lumínica).....	51
3.3.1	Evaluación del consumo energético.....	52
3.3.2	Valoración económica y medioambiental.....	52
3.3.3	Vida de la lámpara.....	52
3.3.4	Rendimiento de la luminaria .....	53
3.3.5	Elección de los componentes .....	54
3.4	La luminaria .....	56
3.4.1	Elementos comunes .....	57
3.5	Clasificación de las luminarias.....	73
3.5.1	Clasificación según las condiciones operativas. ....	74
3.5.2	Clasificación atendiendo a la protección eléctrica.....	76
3.5.3	Clasificación en función de la inflamabilidad de la superficie de montaje. ....	77
3.5.4	Clasificación de las luminarias en función del lugar de funcionamiento. ....	77
3.5.5	Tipos de luminarias para uso comercial, residencial y de oficinas.....	84
Capítulo 4.	Fase de diseño de la luminaria.....	90
4.1	Proceso de diseño y fabricación.....	90
4.1.1	Fase 0: Generación y Filtrado de Propuestas.....	90
4.1.2	Fase I: Estudio de Viabilidad.....	91

4.1.3	Fase II: Diseño Gráfico.....	91
4.1.4	Fase III: Desarrollo.....	91
4.1.5	Fase IV: Realización y Validación del Prototipo.....	91
4.1.6	Fase V: Preparación para fabricación en serie y costes. ....	91
4.1.7	Fase VI: Realización de Pre-serie.....	92
4.1.8	Fase VII: Finalización del proyecto. ....	92
4.2	La luminaria.....	92
4.3	Componentes de la luminaria. ....	93
4.3.1	Componentes ópticos. ....	94
4.3.2	Componentes Estructurales. ....	103
4.3.3	Fuente de luz. ....	110
4.3.4	Unidad de alimentación. ....	114
4.4	Montaje de la Luminaria. ....	115
4.5	Mejora del Modelo Inicial. ....	116
4.6	Sistemas de Sujeción.....	117
4.6.1	Sistema de Muelles. ....	117
4.6.2	Sistema de Imanes en Tira Continua.....	122
Capítulo 5.	Cálculos. ....	130
5.1	Ensayo fotométrico.....	130
5.2	Ensayos térmicos.....	132
5.2.1	Simulación térmica.....	133
5.2.2	Ensayo térmico real.....	142
Capítulo 6.	Análisis Económico.....	146
6.1	Pay- back. ....	146
6.2	Tir. ....	146
6.3	ROI.....	147
6.4	Análisis Económico.....	147
Capítulo 7.	Resultados, Conclusiones y Pliego de Condiciones. ....	155
7.1	Resultados de la luminaria LED. ....	155
7.1.1	Propiedades características.....	155
7.1.2	Fotometría.....	155
7.2	Análisis económico.....	156
7.3	Conclusiones.....	156
7.4	Pliego de condiciones.....	157

7.4.1	Condiciones generales.....	157
7.4.2	Especificaciones Técnicas.....	157
Capítulo 8.	Presupuesto.....	160
Bibliografía		162
	Referencias.....	162
	Enlaces.....	162
Anexos		163
	ANEXO A: Tabla de propiedades del 6 FV NATURAL 2802 SR.....	163
	ANEXO B: Hoja de recogida selectiva de aparatos eléctricos y electrónicos .....	164
	ANEXO C: Planos de fabricación.....	165

## Índice de Anexos

### Figuras

Figura 1 Espectro electromagnético y luz visible .....	17
Figura 2 Flujo luminoso .....	18
Figura 3 Ángulo Sólido.....	19
Figura 4 Intensidad Luminosa .....	20
Figura 5 Luminancia y dirección hacia el observador .....	21
Figura 6 Iluminancia .....	22
Figura 7 Iluminancia Angular.....	22
Figura 8 Sistema colorimétrico CIE.....	24
Figura 9 Matiz, Saturación, Brillo .....	25
Figura 10 Temperatura de color (K) .....	26
Figura 11 Índice de Reproducción Cromática .....	26
Figura 12 Esfera de Ulbricht .....	28
Figura 13 Luxómetro .....	28
Figura 14 Luminacímetro .....	29
Figura 15 Iluminación directa.....	31
Figura 16 Iluminación Indirecta.....	31
Figura 17 Lámpara de incandescencia convencional .....	33
Figura 18 Esquema tecnología incandescente convencional.....	34
Figura 19 Lámpara halógena .....	35
Figura 20 Lámpara fluorescente.....	36
Figura 21 Lámpara de mercurio de alta presión .....	37

Figura 22 Lámpara de luz de mezcla .....	38
Figura 23 Lámpara de halogenuros metálicos .....	39
Figura 24 Lámpara de vapor de sodio a baja presión .....	40
Figura 25 Lámpara de vapor de sodio a alta presión .....	41
Figura 26 Principio de funcionamiento de las lámparas de inducción .....	42
Figura 27 Lámpara fluorescente de alta presión sin electrodos.....	43
Figura 28 Lámpara de descarga de gas a baja presión por inducción.....	43
Figura 29 Símbolo de un diodo LED .....	44
Figura 30 Bandas eléctricas de los distintos materiales.....	45
Figura 31 Estructura atómica de un semiconductor tipo N .....	46
Figura 32 Estructura atómica de un semiconductor tipo P .....	46
Figura 33 Módulo LED .....	47
Figura 34 Placas LED PCB.....	48
Figura 35 Módulo LED .....	49
Figura 36 Adaptaciones de lámparas convencionales .....	49
Figura 37 Estructura OLED .....	50
Figura 38 Luminaria OLED .....	51
Figura 39 Gráfico eficacia frente a propiedades cromáticas.....	54
Figura 40 Balastro electromagnético .....	55
Figura 41 Balastro electrónico .....	55
Figura 42 Reflexión especular y difusa.....	58
Figura 43 Refracción de la luz.....	58
Figura 44 Reflector parabólico .....	59
Figura 45 Reflector esférico con fuente de luz alejada del centro de la curva .....	60
Figura 46 Reflector esférico con fuente de luz en el centro de la curva.....	60
Figura 47 Reflector parabólico combinado .....	61
Figura 48 Reflector elíptico con fuente de luz en el foco.....	61
Figura 49 Reflector elíptico con fuente de luz desplazado del foco .....	62
Figura 50 Reflector elíptico con fuente de luz desplazado del foco .....	62
Figura 51 Acabados superficiales. a) Faceteado; b) mate; c) martilleado; d) especular.....	63
Figura 52 Diferentes difusores opales.....	63
Figura 53 Difusores micro-estructurados.....	64
Figura 54 Guía óptica de luz .....	65
Figura 55 Luminaria con celosía .....	65
Figura 56 Lente condensadora .....	66
Figura 57 Lente fresnel.....	66
Figura 58 Lente de estructura .....	67
Figura 59 Lente de estructura .....	67
Figura 60 Lente flood .....	67
Figura 61 Lente softec .....	68
Figura 62 Luminaria View Lledó con lente RMBO.....	68
Figura 63 Filtros polarizadores .....	69
Figura 64 Componentes luminaria .....	70
Figura 65 Grado de protección IP a fin a la normativa EN-60598.....	74



Figura 66 Clasificación de las luminarias de interior en función del porcentaje de flujo luminoso .....	78
Figura 67 Diagrama polar en el sistema C-γ .....	79
Figura 68 Diagrama de flujo zonal.....	80
Figura 69 Distintas distribuciones de intensidad luminosa atendiendo al sistema de clasificación CIE de 1965.....	80
Figura 70 Curva polar de intensidad en el plano de intensidad máxima que muestra el ángulo utilizado para determinar el alcance.....	81
Figura 71 Apertura .....	82
Figura 72 Grados de alcance y apertura definidos por la CIE .....	82
Figura 73 Haz de luz de una luminaria de iluminación por proyección .....	83
Figura 74 Luminaria Downlight de empotrar. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ).....	84
Figura 75 Luminaria uplight de empotrar en el suelo. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ).....	85
Figura 76 Luminarias de iluminación localizada. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ) .....	86
Figura 77 Luminaria de celosía.....	87
Figura 78 Bañador de pared. (Fuente <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ).....	88
Figura 79 Bañador de suelo. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ) .....	88
Figura 80 Bañador de techo. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ) .....	89
Figura 81 Luminaria con reflector secundario. (Fuente: <a href="http://www.lledosa.es">www.lledosa.es</a> ) .....	89
Figura 82 Prototipo de la luminaria de 1230mm x 148mm .....	92
Figura 83 Vista del prototipo de la luminaria de 1230mm x 148mm .....	93
Figura 84 Sección transversal de la luminaria .....	94
Figura 85 Refracción y reflexión en el metacrilato .....	95
Figura 86 Refracción y reflexión en el interior del metacrilato.....	96
Figura 87 Curvas fotométricas del PMMA .....	97
Figura 89 Distribución de los haces de luz de la luminaria .....	97
Figura 89 Curvas fotométricas del PMMA con ultrablancos .....	98
Figura 91 Metacrilato serigrafiado.....	99
Figura 91 Difusor .....	100
Figura 92 Aluminio Especular.....	101
Figura 93 Ultrablancos.....	101
Figura 94 Reflexión total y reflexión difusa del ultrablancos y del metal especular .....	102
Figura 95 Perfil aluminio .....	105
Figura 96 Vista del perfil de aluminio.....	106
Figura 97 Chapa trasera .....	108
Figura 98 Escuadra .....	109
Figura 99 Tira adhesiva de espuma.....	110
Figura 100 Dimensiones del LED .....	110
Figura 101 Sistema eléctrico del LED .....	111
Figura 102 Distribución del haz de luz para distintos planos.....	112
Figura 103 Placa LED .....	113
Figura 104 Esquema eléctrico de la placa LED .....	113
Figura 105 Driver Maxi Jolly 80 Slim HV.....	114
Figura 106 Driver Maxi Jolly 80 Slim HV SolidWorks.....	114
Figura 107 Luminaria explosionada .....	116

Figura 108 Prototipo .....	117
Figura 109 Luminaria con anclaje por muelles.....	118
Figura 110 Detalle luminaria con anclaje por muelles .....	119
Figura 111 Sección luminaria con anclaje por muelles .....	119
Figura 112 Escuadra de chapa y muelle.....	120
Figura 113 Luminaria Instalada en un techo de yeso.....	121
Figura 114 Luminarias en tira continua.....	122
Figura 115 Luminaria inicio .....	123
Figura 116 Perfil luminaria continua .....	124
Figura 117 Cuerpo de aluminio .....	125
Figura 118 Vista lateral del conjunto .....	126
Figura 119 Detalle inferior de la unión entre módulos.....	126
Figura 120 Pieza unión .....	127
Figura 121 Luminarias en techo de yeso.....	128
Figura 122 Sección luminaria en techo de yeso .....	128
Figura 123 Ensayo fotométrico luminaria .....	130
Figura 124 Flujo total de la luminaria.....	131
Figura 125 Paso 1 .....	133
Figura 126 Paso 2 .....	134
Figura 127 Paso 3 .....	135
Figura 128 Paso 4 .....	135
Figura 129 Paso 5 .....	136
Figura 130 Paso 6 .....	137
Figura 131 Paso 7 .....	137
Figura 132 Vista de la temperatura de la luminaria.....	139
Figura 133 Vista frontal de la temperatura de la luminaria.....	139
Figura 134 Vista de la temperatura del fluido.....	140
Figura 135 Vista de las corrientes de aire .....	141
Figura 136 Ensayo térmico .....	144
Figura 137 Foto térmica .....	145
Figura 138 Oficina Piloto de 170m2 .....	148
Figura 139 Fotometría luminaria LED.....	156

## Tablas

Tabla 1 Espectro electromagnético longitud de onda .....	17
Tabla 2 CRI en lámparas .....	27
Tabla 3 Clasificación según la distribución de la luz.....	32
Tabla 4 Longitud de onda característica del material semiconductor .....	47
Tabla 5 Clasificación energía iluminación según sector .....	51
Tabla 6 Vida media y útil dependiendo del tipo de lámpara .....	53

Tabla 7 Grado de protección contra el polvo según normativa EN-60598 .....	74
Tabla 8 Grado de protección contra el agua según normativa EN-60598 .....	75
Tabla 9 Grado de protección contra impactos según normativa UN-60598 .....	75
Tabla 10 Grado de protección IK y energía absorbida EN-50102 .....	76
Tabla 11 Protección eléctrica de la luminaria según normativa EN-60598 .....	77
Tabla 12 Luminarias en función del grado de inflamabilidad de la superficie de montaje .....	77
Tabla 13 Luminarias para instalaciones públicas en función de los parámetros luminosos. ....	80
Tabla 14 Clasificación de la apertura del haz .....	83
Tabla 15 Propiedades mecánicas del MCPET .....	103
Tabla 16 Propiedades de las diferentes aleaciones de aluminio .....	104
Tabla 17 Características del driver .....	115
Tabla 18 Resultados ensayo térmico.....	144
Tabla 19 Comparación coste inicial.....	149
Tabla 20 Utilización instalación.....	149
Tabla 21 Costes por explotación .....	150
Tabla 22 Costes de mantenimiento .....	150
Tabla 23 Coste recursos energéticos convencional frente a LED.....	151
Tabla 24 Ahorro energía y mantenimiento .....	151
Tabla 25 Emisiones reducidas respecto de la instalación con las luminarias OD3290 al año y en el periodo de vida útil de la instalación .....	152
Tabla 26 Amortización de la instalación.....	152
Tabla 27 Amortización por renovación .....	153
Tabla 28 Rentabilidad de la inversión .....	154
Tabla 29 Propiedades características.....	155

## Gráficas

Gráfica 1 Caída del flujo relativo del LED en función de la temperatura .....	132
Gráfica 2 Convergencia de los resultados .....	138
Gráfica 3 Temperatura del perfil de las placas LEDs .....	142
Gráfica 4 Temperatura máxima del LED en función de la intensidad de corriente .....	143
Gráfica 5 Gráfico comparación consumo anual kW .....	151
Gráfica 6 Flujo de caja en años.....	153
Gráfica 7 Flujo de caja en años por renovación .....	154

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Introducción

El problema que genera el aumento de la demanda energética a nivel mundial, la contaminación y el abuso de los recursos hacen preciso que sea necesario desarrollar tecnologías que reduzcan estos efectos negativos que a la larga perjudican tanto a las personas, como al medio ambiente.

Las ventajas que nos proporcionan a corto plazo los avances industriales, a la larga producen un deterioro a nivel global que puede llegar a causar problemas de salud debido a un mal uso de las mismas y la excesiva contaminación que genera dicha industria.

Por este motivo entre otros, surge este proyecto, como desarrollo de una luminaria que desde el punto de vista tecnológico, de diseño y de fabricación no afecte ni deteriore a la larga el medio ambiente.

Se analizará el impacto ambiental y el consumo energético que tiene dicho producto y cómo afecta al nivel de CO<sub>2</sub> que se genera en la producción de electricidad que consume, y se comparará con una luminaria similar de tecnología convencional.

## 1.2 Alcance

El objetivo de este proyecto es desarrollar una luminaria que sea igual o más eficiente que el resto y con unas dimensiones mucho más reducidas que cualquier otra luminaria. Se crea un producto que sea atractivo y que satisfaga las necesidades de iluminación en interiores.

Para conseguir dicho fin se hará uso de las tecnologías más eficientes en el campo de la iluminación como son los LED y de la tecnología del guiado óptico para obtener una luminaria tan fina.

## 1.3 Antecedentes

Antes de empezar a diseñar la luminaria es necesario conocer qué tecnologías hay en el mercado y de cuales se dispone para poder desarrollar un producto que se pueda fabricar con los métodos existentes.

Los condicionantes previos a la elección de la tecnología de iluminación son:

- Se tiene que mejorar o igualar la calidad luminosa que hay en otras luminarias de características semejantes.
- Conseguir la mayor eficiencia posible.
- Tener en cuenta que la característica principal de esta luminaria es la optimización de sus dimensiones.

Para desarrollar un producto con estas características se utiliza la tecnología LED, puesto que es la más eficiente y la que produce mayor cantidad de luz por unidad de potencia consumida.

Para conseguir que la luminaria sea reducida en espesor se elige la tecnología del guiado óptico como componente principal. Esta tecnología no se ha desarrollado mucho en Europa pero los resultados obtenidos en laboratorio son bastante satisfactorios.

#### **1.4 Organización de la memoria**

En este apartado se mencionan las partes del proyecto y se hace una breve descripción de las mismas:

- **Objetivos**

Este proyecto tiene como objetivo el estudio, diseño y análisis de una luminaria LED basada en la tecnología del guiado óptico. La luminaria debe ser además eficiente, limpia y respetuosa con el medio ambiente.

- **Conceptos teóricos**

Se explican los conceptos teóricos relacionados con el mundo de la iluminación de tal manera que se pueda comprender y seguir el desarrollo de la luminaria y el porqué de la elección de los componentes de la misma.

Se habla detalladamente la tecnología del guiado óptico, el funcionamiento de dicha tecnología y las ventajas de usar ésta en vez de la tecnología convencional LED.

- **Diseño de la Luminaria**

En este apartado se diseña la luminaria y todos sus componentes, intentando minimizar sus dimensiones y, solucionando los problemas de fabricación y montaje, adaptar y rediseñar las partes de la luminaria acorde con dichos conflictos técnicos.

- **Análisis**

Se hace un estudio de la luminaria para determinar los parámetros de funcionamiento y poder identificar y elegir los componentes eléctricos.

Se realiza además un análisis energético y medioambiental para estimar el impacto, y un estudio económico para calcular el coste de la luminaria.

- **Anexos**

En este apartado se añade toda la información adicional relacionada con el proyecto necesaria para la comprensión del diseño de la luminaria.

- Presupuesto

Se muestra el presupuesto realizado por el departamento de Odel-lux S.A. en el que se tiene en cuenta todos los factores que determinan el precio de la luminaria.

## Capítulo 2. Objetivos

Los objetivos para los que se desarrolla este proyecto son:

- Diseño y desarrollo de una luminaria fabricable y eficiente basada en la tecnología LED y el guiado de la luz mediante la incorporación de un componente óptico compuesto de metacrilato que mejore la calidad y la distribución uniforme de la luz.
- Introducción en el mundo de la luz, iluminación y luminarias.
- Mostrar el uso de los LEDs en el campo de la iluminación y analizar las ventajas del uso de los mismos con respecto a otras fuentes de iluminación convencionales en el mundo de la iluminación, tanto profesional como doméstico.
- Introducción y explicación del funcionamiento del novedoso componente óptico y el porqué de su uso a la hora de diseñar la luminaria.
- Realizar un estudio económico que compare la nueva luminaria con un modelo de tecnología convencional con el fin de convencer y dar a conocer el tiempo de amortización de la inversión inicial de la instalación en relación a la de tecnología convencional y el ahorro de dinero en el consumo de electricidad.

## Capítulo 3. Capítulo 3. Conceptos teóricos previos

### 3.1 La luz

La luz es un conjunto de ondas electromagnéticas que permiten ver cualquier tipo de objeto. Dichas ondas se propagan en cualquier espacio y dirección tanto de forma electromagnética como de forma térmica [1].

Como ondas electromagnéticas: Propagan energía producida por oscilaciones de campos magnéticos y no necesitan de un medio para propagarse.

Como energía térmica: Cuando una onda cargada de energía incide sobre un cuerpo, ésta se transforma en su mayor parte en calor.

Para poder cuantificar la radiación se hace uso de las magnitudes radiométricas que clasifica las ondas electromagnéticas en función de la longitud de onda.

Para el estudio único de las ondas electromagnéticas visibles al ojo humano se emplean las magnitudes fotométricas, que albergan únicamente las ondas que tienen una longitud de onda comprendida entre 380nm y 760nm.

#### 3.1.1 Magnitudes fotométricas

Las magnitudes fotométricas clasifican las ondas electromagnéticas del espectro visible en función de la sensibilidad que tiene el ojo humano para las diferentes longitudes de onda [2].

Las magnitudes fotométricas ponderan las diferentes magnitudes radiométricas medidas para cada longitud de onda por un factor que represente la sensibilidad del ojo humano para dicha longitud. La función que determina estos pesos es la función de luminosidad relativa de un ojo humano. Esta función varía dependiendo si el ojo está acostumbrado a una buena iluminación o una mala.



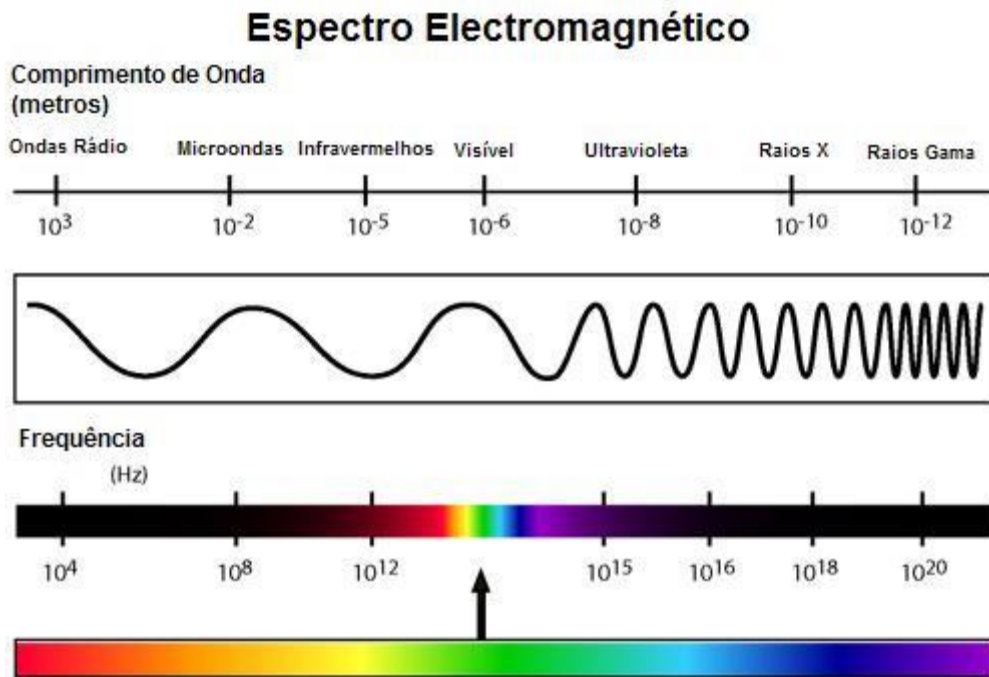


Figura 1 Espectro electromagnético y luz visible

Tipo	Longitud de Onda
IR-C	3.0 $\mu\text{m}$ – 1.0 $\mu\text{m}$
IR-B	1.4 $\mu\text{m}$ – 3.0 $\mu\text{m}$
IR-A	780nm – 1400nm
LUZ VISIBLE	(360-400)nm – (760-800)nm
UV-A	315nm – 400nm
UV-B	280nm – 315nm
UV-C	100nm – 280nm

Tabla 1 Espectro electromagnético longitud de onda

A continuación se explica las diferentes magnitudes fotométricas que definen las características de una fuente de luz.

Estas definiciones ayudarán a comprender y a cuantificar la eficiencia de la luminaria.

### 3.1.1.1 Flujo luminoso

El flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida por el ojo humano. Se calcula ponderando la potencia para cada longitud de onda en función de la sensibilidad del ojo humano. Viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\phi_{lum} = K_m \cdot \int_{380}^{760} V_k \cdot \phi_{rad} \cdot d\lambda \text{ [Lúmenes]}$$

Donde:

- $K_m$  es la eficiencia luminosa.
- $V_k$  es la eficiencia luminosa relativa. Esta depende del observador estándar.
- $\phi_{rad}$  es el flujo radiante. Da la cantidad de energía electromagnética en cada instante tiempo.

$$\phi_{rad} = \frac{Q}{dt}$$

Donde:

- $Q$  es la energía electromagnética o energía radiante.
- $\phi_{rad} \cdot d\lambda$  es el flujo radiante en un intervalo de longitud de onda pequeño, se expresa en vatios.

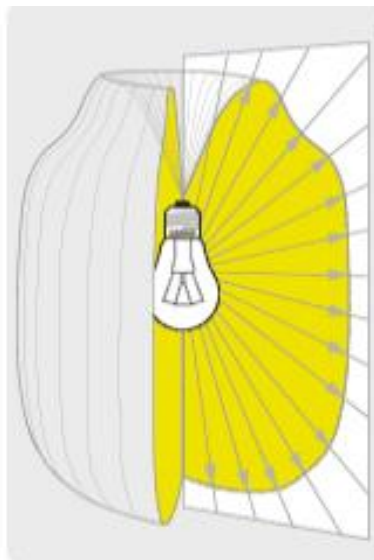


Figura 2 Flujo luminoso

### 3.1.1.2 Rendimiento luminoso o eficacia luminosa

Es la cantidad de flujo de luz que emite una fuente de luz por unidad de potencia eléctrica consumida, y viene definida por la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\phi_{lum}}{W} \left[ \frac{lumen}{vatio} \right]$$

Según estudios, el rendimiento máximo alcanzable estaría en torno a 690lm/W. En dicho caso la lámpara tendría que transformar toda la potencia eléctrica en energía lumínica y no poseer ningún tipo de pérdidas energéticas.

### 3.1.1.3 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa es la concentración de luz en una dirección específica, radiada por segundo. La intensidad luminosa no depende de la distancia a la que se encuentre el foco luminoso.

Las prestaciones fotométricas de una luminaria se calculan en función de la distribución de la intensidad lumínica media de la luminaria.

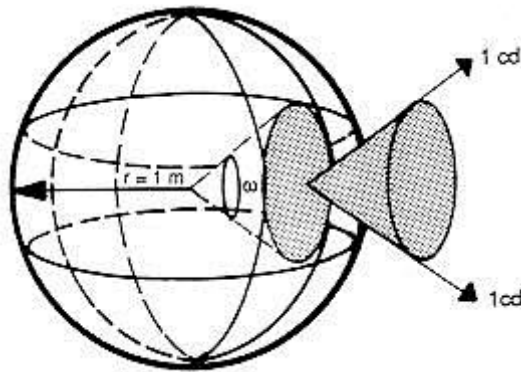


Figura 3 Ángulo Sólido

La intensidad luminosa está definida por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{d\phi_{lum}}{d\omega} [Cd]$$

La intensidad luminosa se mide en candelas:

$$Cd = Candela = \frac{lumen}{\Omega}$$

Donde:

-  $\Omega$  es el ángulo sólido, ángulo espacial que abarca un objeto observado desde un punto, corresponde con la zona del espacio limitada por una superficie cónica.

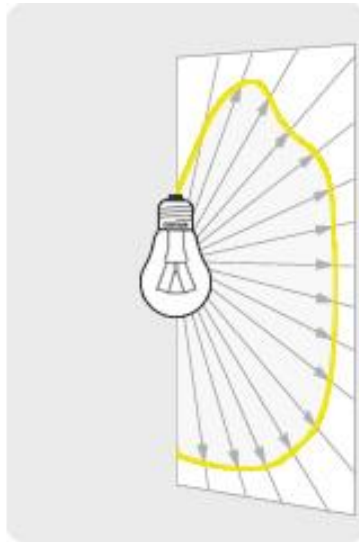


Figura 4 Intensidad Luminosa

#### 3.1.1.4 Luminancia

La luminancia es el cociente entre la intensidad luminosa emitida por una fuente de luz en la dirección de un observador y el área que el observador puede ver de la fuente de luz.

Está definida por la siguiente expresión:

$$L_{\alpha} = \frac{d\phi_{lum}}{d\omega \cdot dS \cdot \cos\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{A \cdot \cos\alpha} \left[ \frac{cd}{m^2} \right]$$

Donde:

- $I_{\alpha}$  es la intensidad luminosa en la dirección de dicha intensidad ( $\alpha$ ).

- $A \cdot \cos\alpha$  es el área en la que se proyecta la intensidad y es perpendicular a la dirección de propagación de la luz hacia el observador.

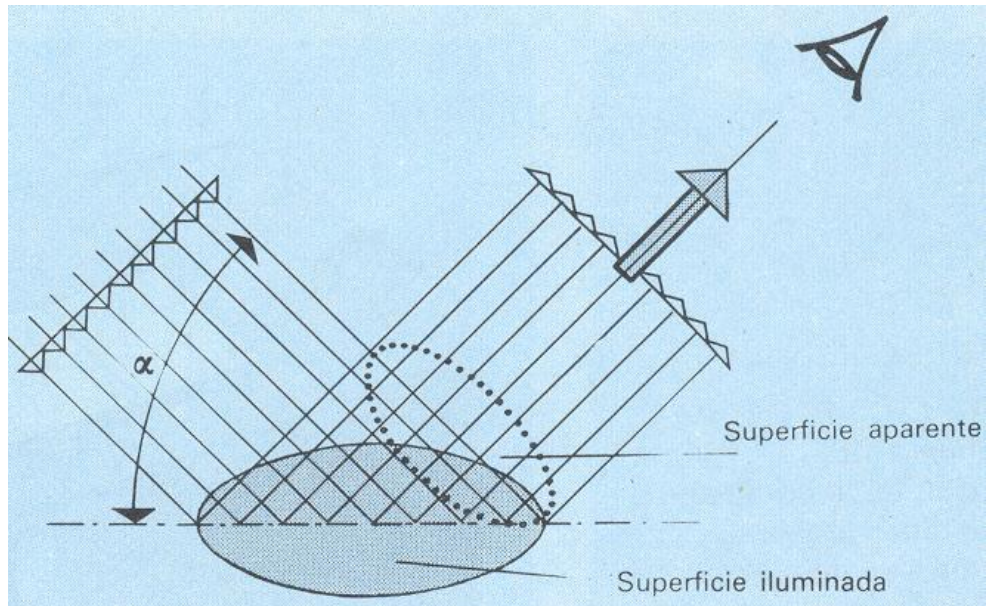


Figura 5 Luminancia y dirección hacia el observador

### 3.1.1.5 Iluminancia (nivel de iluminación)

La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que recibe una superficie por unidad de área. También se define a partir de la magnitud radiométrica de la irradiancia ponderada para cada longitud de onda en función de la sensibilidad del ojo.

La iluminancia se define por la siguiente expresión:

$$E = \frac{d\phi_{lum}}{dS} = \frac{I}{d^2} [Lux]$$

Donde:

- $I$  es la intensidad luminosa.
- $d$  es la distancia entre la superficie en la que se mide el flujo y la fuente de luz en el caso de que el plano sea perpendicular a la dirección de la luz.

La unidad es el Lux:

$$Lux = \frac{Lumen}{m^2}$$

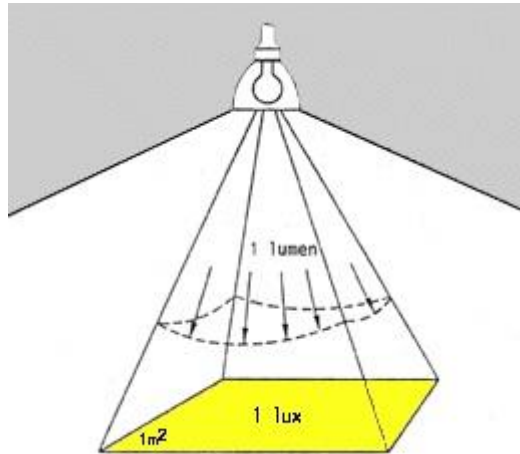


Figura 6 Iluminancia

En el caso de superficies no perpendiculares la expresión es la siguiente:

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \gamma$$

Donde:

- $I$  es la intensidad luminosa.
- $\gamma$  es el ángulo de inclinación de la superficie sobre la que se mide la iluminancia.
- $d$  es la distancia entre el plano de la superficie en la que se mide el flujo y la fuente de luz. En este caso el plano no es perpendicular a la dirección de la luz.

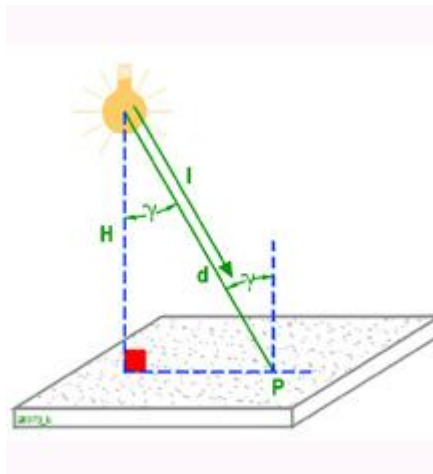


Figura 7 Iluminancia Angular

### 3.1.1.6 *Energía lumínica o cantidad de luz*

La energía lumínica es la cantidad de energía que transporta la luz en una onda electromagnética y se manifiesta, entre otras muchas maneras, arrancando los electrones de metales. La energía lumínica es una forma de energía electromagnética.

Su expresión es:

$$Q = \theta * t \left[ \frac{lm}{s} \right]$$

Su unidad es:  $\left[ \frac{lm}{s} \right]$

La energía luminosa no se debe confundir con la energía radiante ya que dependiendo de la longitud de onda se transporta una cantidad diferente de energía.

### 3.1.2 *Magnitudes colorimétricas*

A pesar de que dos fuentes de luz posean la misma luminancia pueden diferenciarse en su color. Esto se debe a que poseen diferente longitud de onda. El color que se percibe depende de la distribución espectral de la luz, en el caso de que la fuente de luz emita longitudes de onda largas, el color se verá rojo, si por el contrario la longitud de onda es corta el color se percibirá azul, pasando así por toda la gama cromática.

La luz blanca no es otra cosa que una combinación de todas las longitudes de onda del espectro visible en aproximadamente cantidades iguales.

Con el mismo principio con el que se forma el blanco, combinando la luz roja, la verde y la azul se puede conseguir cualquier tipo de color. Este es el concepto en el que se basan las televisiones LED.

Para poder medir el color de una forma objetiva se usa el colorímetro CIE, el cual se basa en el principio expuesto en el párrafo anterior, cualquier color puede formarse a partir de otros tres con diferente espectro visible.

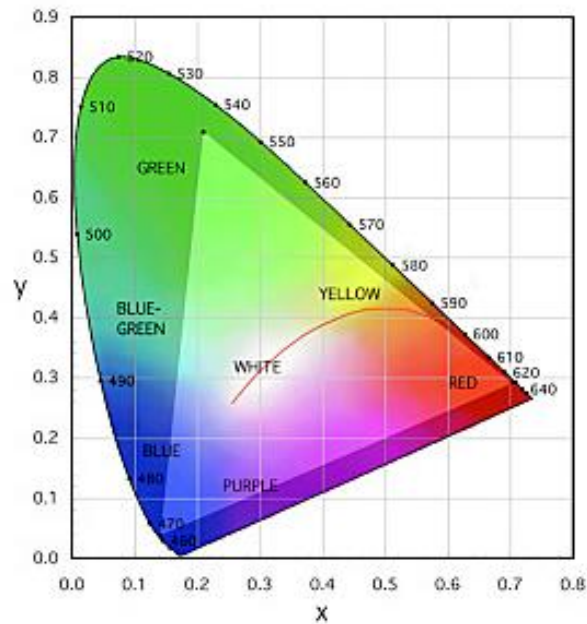


Figura 8 Sistema colorimétrico CIE

Para definir completamente un tipo de luz no basta con el color, si no que el mismo color puede poseer un tono, una pureza o saturación y un esplendor o calidad.

#### 3.1.2.1 Tono o matiz

Está definido por el color que más abunda en la luz analizada y está relacionado con el nombre de los colores básicos. Está descrito por la longitud de onda del color predominante. Si la longitud de onda del color dominante no se corresponde con ninguna del espectro, ésta será de un color complementario.

#### 3.1.2.2 Pureza o saturación

La saturación o pureza es la intensidad de un tono específico. Está definido por la pureza del color; un color muy saturado tiene un color vivo, un color poco saturado presenta un estado más descolorido y gris.

#### 3.1.2.3 Claridad o esplendor

Es la cantidad de luz recibida a través de la radiación luminosa. Se basa en el nivel de intensidad de luz que emite una fuente. Un objeto expuesto a una fuente de luz o a una sombra varía solo en su claridad.





Figura 9 Matiz, Saturación, Brillo

#### 3.1.2.4 Temperatura de color

La temperatura de color es una medida que se usa para indicar el color de una fuente de luz. Se calcula comparando su color del espectro luminoso con el que emitiría un cuerpo negro a dicha temperatura.

Puesto que esta medida depende únicamente de la temperatura, se expresa en Kelvin a pesar de definir un color.

Cabe destacar que a pesar de poseer una fuente de luz una temperatura de color específica, no quiere decir que la fuente tenga que estar a dicha temperatura.

La temperatura de color se puede agrupar en tres grupos:

- Cálida: Se caracteriza por poseer unos tonos blanco rojizos. Su temperatura está por debajo de 3.300K.
- Intermedia o Neutra: posee unos tonos blancos y su temperatura de color está comprendida entre 3.300K y 5.300K.
- Fría: Predominan los tonos blancos azulados, su temperatura de color está por encima de los 5.300K.



Figura 10 Temperatura de color (K)

### 3.1.2.5 Índice de Reproducción Cromática (CRI)

El índice de reproducción cromática es una medida que se usa para cuantificar la capacidad que tiene la fuente de luz para reproducir con fidelidad los colores reales de los objetos. Este método de medida funciona sobre una escala del 0 al 100, siendo éste el valor máximo.



Figura 11 Índice de Reproducción Cromática

Los primeros ocho colores no saturados (R1– R8) se utilizan para calcular el CRI general y el resto de colores saturados (R9 hasta R14) para incorporar información adicional sobre las características de reproducción cromática de la fuente de luz.

Índice de Reproducción Cromática de las principales lámparas:

TIPO DE LÁMPARA	CRI
Lámpara incandescente	100
Lámpara halógena	100
Lámpara fluorescente compacta	15-85
Lámpara de haluro metálico	65-93
Lámpara de inducción	79
Sodio Alta Presión	0-70
Sodio Baja Presión	0

Tabla 2 CRI en lámparas

### 3.1.3 Instrumentos de medida

Para poder medir las magnitudes fotométricas y las colorimétricas expuestas anteriormente es necesario de instrumentos capaces de dar un valor cuantitativo de las características de la luminaria y o fuente de luz. Hay que tener en cuenta que es necesario hacer una medición en laboratorio y otra en el lugar donde esté instalada, para poder analizar cómo se comporta una vez instalada.

- En laboratorio:  
Se miden propiedades del color flujo luminoso y distribución de intensidad luminosa. Los instrumentos de medida son:
  - Fotogoniómetro: Consiste en un aparato que mide la fotometría de la fuente de luz expresándola en curvas polares. El análisis se efectúa en una sala negra y completamente oscura donde se coloca la luminaria.
  - Esfera de Ulbricht: Consiste en una esfera hueca cuyo interior es blanco en la que se introduce un fotoelemento ajustado, que mida el flujo luminoso y la fuente de luz.



Figura 12 Esfera de Ulbricht

- En el lugar de instalación:  
Se usa el Luxómetro y el Luminómetro para medir la luminancia y la iluminancia.
  - Luxómetro: Su funcionamiento se basa en una celda fotovoltaica que recibe la luz, y un circuito integrado que transforma los fotones que constituyen la señal en una corriente eléctrica. En la pantalla del luxómetro se visualizará un valor de calibrado en lux en función de la corriente eléctrica.



Figura 13 Luxómetro

- **Luminómetro o nitómetro:** Está constituido por dos sistemas ópticos: de dirección y de medición. Un sistema se orienta hacia el punto a medir y el otro recibe y transforma los datos en una corriente eléctrica que muestra los datos en  $\text{cd/m}^2$ .



Figura 14 Luminómetro

### 3.2 Iluminación.

En la industria de las luminarias se entiende por iluminación al conjunto de luces que se montan en un determinado espacio para iluminarlo y cambiarlo de nivel visual [3].

#### 3.2.1 Formas de Crear la Luz.

Dependiendo del tipo de onda electromagnética visible que posea la luz y la forma en que se crea se pueden distinguir dos tipos:

- **Termo radiación:** Esta tecnología se basa en la radiación que emite un cuerpo caliente. Dicha forma de creación de luz es la menos eficiente puesto que gran parte de la radiación que emite el cuerpo es térmica, energía que no se aprovecha en la mayoría de los casos y que se pierde.
  - **Termo radiación natural:** Es la más abundante, su fuente principal es el Sol y el resto de estrellas. Su funcionamiento se basa en la reacción nuclear del hidrógeno que lo forma. Sus 6500°K a los que está su superficie, la hacen la fuente más eficiente, siendo el 40% de toda la energía que emite luz visible y el 60% restante calor.
  - **Termo radiación artificial:** Se consigue al elevar un cuerpo a una temperatura muy alta, haciendo que emita radiación visible entre otras muchas. Dependiendo de la forma en que se caliente el cuerpo existen dos tipos.

- Luz por incandescencia: Se consigue al calentar una resistencia que se encuentra sometida al vacío, haciendo pasar una corriente eléctrica. Dicha resistencia emite radiación en forma de calor y luz.
  - Luz por combustión: Es la primera forma de crear luz de manera artificial. Se consigue prendiendo algo, ya sea una antorcha una lámpara de aceite, una vela, carbón...
- Luminiscencia: Se produce al incitar a los electrones de una materia a emitir radiaciones electromagnéticas. Este método funciona gracias a que al suministrar a un átomo cierta cantidad de energía, el electrón se excita cambiando de órbita por un momento y cediendo dicha energía en forma de radiación electromagnética, principalmente radiación visible, al volver a su órbita original.

Existen dos tipos de luminiscencia:

- Fotoluminiscencia: Es la producida al excitar al átomo mediante radiación de onda corta, principalmente ultravioleta, sobre sustancias luminiscentes que transforman esa onda corta en onda visible.
- Electroluminiscencia: Es la radiación que se consigue al introducir una sustancia luminiscente entre dos capas conductoras y someterlas a una corriente alterna. Se produce un parpadeo de baja intensidad por la superficie de la fuente de luz.

### 3.2.2 Tipos de iluminación

Una vez que se tiene una fuente de luz, es opcional la manera en que guíes las ondas electromagnéticas y como enfoques el haz de luz. En función de cómo se quiera iluminar los lugares elegidos se pueden encontrar los siguientes tipos:

#### 3.2.2.1 Iluminación Directa

Consiste en iluminar la zona deseada directamente haciendo que el haz de luz incida directamente sobre la misma sin ningún tipo de obstáculo. Se suele utilizar para la iluminación completa del espacio, y puede ser simétrica o asimétrica con respecto al eje vertical. Este tipo genera una iluminación suave con pocas sombras y reflejos.

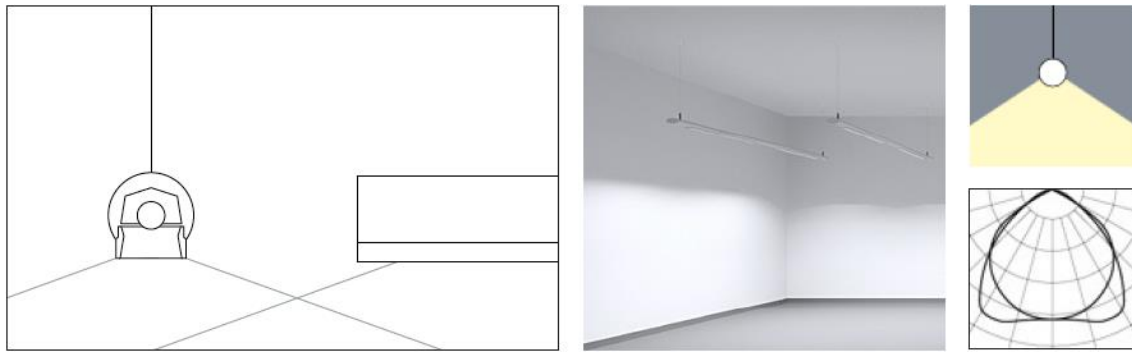


Figura 15 Iluminación directa

### 3.2.2.2 Iluminación Indirecta

Se montan principalmente utilizando techos, paredes u otras superficies como reflector secundario de forma que no se ilumine el suelo de forma directa y quede una iluminación más suave. Se crea una sensación espacial de amplitud. Dependiendo del grado de uniformidad se alejará o se acercará la luminaria al techo o superficie reflectora.

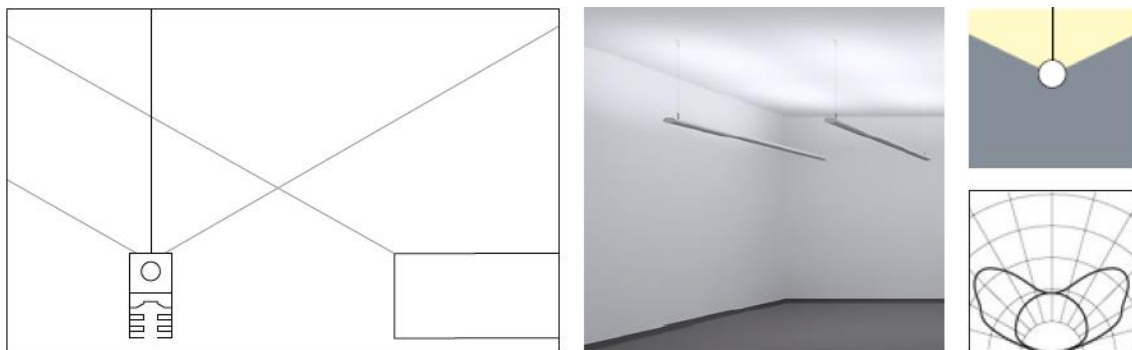
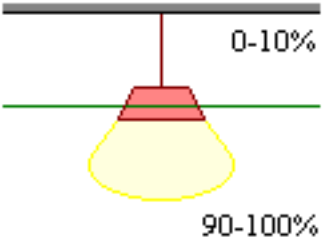
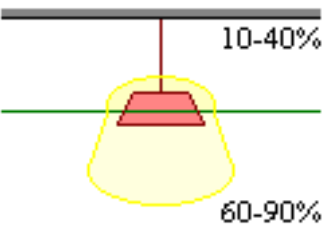


Figura 16 Iluminación Indirecta

### 3.2.2.3 Variantes

A este grupo pertenecen aquellas luminarias que alumbran tanto directa como indirectamente, se clasifican en función del porcentaje de luz que incide arriba o abajo. Los tipos pueden ser: semi-directa, general-difusa, directa-indirecta y semi-Indirecta.

Directa		Semi-directa	
---------	---	--------------	--

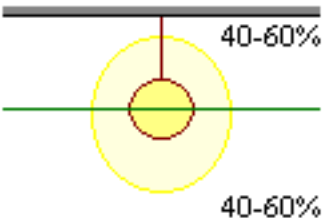
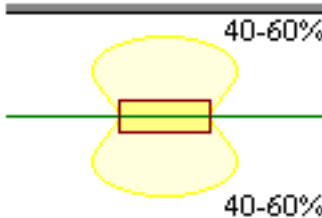
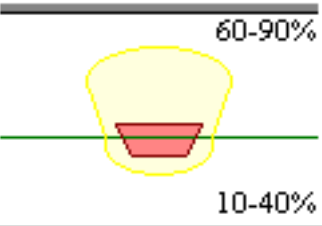
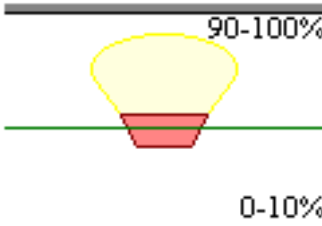
General-difusa		Directa-indirecta	
Semi-indirecta		Indirecta	

Tabla 3 Clasificación según la distribución de la luz

### 3.2.3 Fuentes de iluminación. Tipos de lámparas.

La función de una lámpara es convertir la energía eléctrica en radiación electromagnética visible. Es el elemento más utilizado a la hora de crear luz. Dependiendo de la manera en que se transforma la energía eléctrica en lumínica se encuentran dos fuentes de iluminación: Incandescencia y Descarga Eléctrica [4].

#### 3.2.3.1 Incandescencia

Es el fenómeno por el cual un material sólido o líquido emite radiación electromagnética al calentarse a temperaturas superiores a 1.000°K.

El método por el cual se crea dicha radiación es termoradiación por incandescencia.

Una lámpara de incandescencia está formada por un filamento de tungsteno sometido a un vacío, que evita que se queme, por el que se hace pasar una corriente eléctrica. Ésta se calienta hasta alcanzar entre 2.500°K y 3.200°K emitiendo luz y calor. A pesar de haber sido una de las más utilizadas, su rendimiento es bajo.

#### 3.2.3.2 Descarga eléctrica

Este tipo de lámparas son las más utilizadas a nivel industrial ya que son mucho más eficientes que las incandescentes

Su funcionamiento consiste en hacer pasar por un gas una corriente eléctrica que excite los átomos y a su vez los electrones, de modo que se libere radiación electromagnética cuando el electrón pase de una órbita a otra. En función del gas utilizado se produce una longitud de onda, por consiguiente un tipo característico del espectro visible.



Dependiendo de la presión a la que se encuentre el vapor se puede encontrar lámparas de descarga de baja y alta presión.

### 3.2.3.3 Tipos de lámparas

#### 3.2.3.3.1 Lámparas de incandescencia

Es la forma más antigua de abastecer de luz un espacio con corriente eléctrica. Es la fuente de luz que más se utiliza en la actualidad a pesar de ser la menos eficiente.

Su principal características es que no necesita de ningún tipo de transformador ni driver, si no que se conecta directamente a la red eléctrica. Otra ventaja es que no tiene tiempo de espera para el reencendido.

El mayor inconveniente es que es muy poco eficiente porque la mayor parte de la energía que consume se transforma en calor. Este tipo de lámparas es la que menos vida media tiene, lo que la hace una tecnología en desuso.

- Lámpara de incandescencia convencional

La luz se crea a partir de un filamento resistivo al que se le hace pasar una corriente eléctrica, calentándose y emitiendo ondas electromagnéticas en forma de luz visible.



b

Figura 17 Lámpara de incandescencia convencional

Las partes principales de esta lámpara son los siguientes:

- Filamento: Están fabricados básicamente de wolframio o tungsteno ya que poseen un punto de fusión muy altos y un grado de evaporación bajo. Está enrollado en forma de espiral para alcanzar una mayor eficiencia.
- Ampolla: Consiste en una cápsula de vidrio en la que se encuentra el filamento. Está sellada para evitar que el filamento se queme al entrar en contacto con el aire.
- Gas de relleno: Se introduce un gas inerte en la ampolla para evitar la evaporación. Se suelen utilizar gases como el argón o el nitrógeno.
- Casquillo: Es la pieza que sujeta la ampolla y los filamentos. A través del casquillo, la lámpara se conecta a la red y conduce la electricidad hacia el filamento.

- Lámpara halógena

El principio utilizado es el mismo que en las anteriores, la diferencia se encuentra en que en vez de estar sometido el filamento de tungsteno a un gas inerte únicamente, a éste se le introduce una pequeña cantidad de un halógeno, como puede ser el yodo, el flúor, el bromo..., para crear un ciclo regenerativo.

Esto produce, con respecto a las tradicionales, una mayor vida de la lámpara, una reducción del tamaño de la ampolla, una mayor eficiencia luminosa, mayor temperatura de color y una pérdida de eficacia menor a lo largo del tiempo.

Debido a las altas temperaturas que alcanza el filamento de tungsteno se produce una evaporación del mismo, para evitar esto y alargar la vida de la lámpara se emplean los halógenos. El funcionamiento de este ciclo regenerativo es el siguiente: El tungsteno evaporado se mezcla con el halógeno, lo que hace que permanezca en estado gaseoso en vez de depositarse en la ampolla oscureciendo la misma y cuando el tungsteno en estado gaseoso se acerca al filamento, éste se deposita y el halógeno vuelve a quedar libre de tungsteno hasta volver a repetir el ciclo.

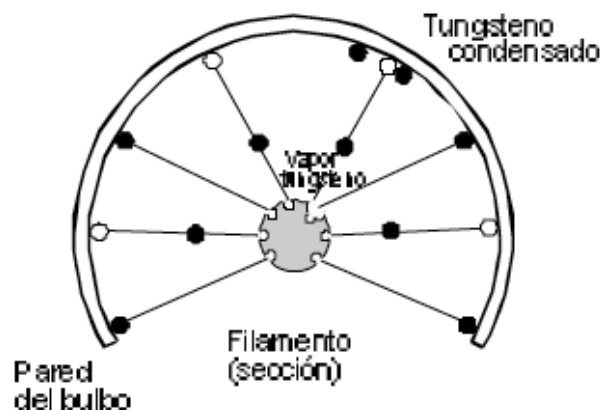


Figura 18 Esquema tecnología incandescente convencional

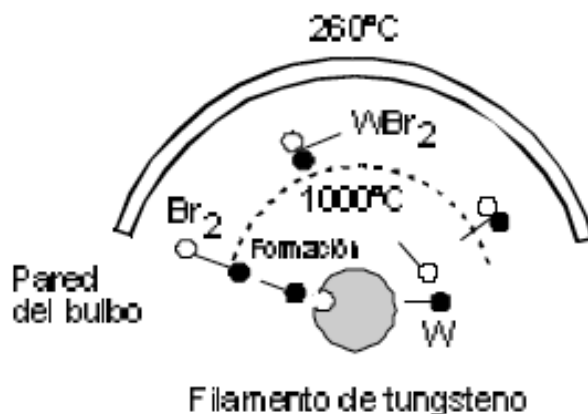


Figura 19 Lámpara halógena

#### 3.2.3.3.2 Lámpara de fluorescencia o descarga

Las Lámparas fluorescentes o de descarga se pueden clasificar dependiendo de la presión que posean o el vapor que utilicen. En función del tipo de lámpara, sus propiedades serán unas u otras, lo que las hacen adecuadas para diferentes entornos.

A continuación se explican los diferentes tipos:

- Lámpara de fluorescencia o descarga de vapor de mercurio a baja presión

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio de baja presión (0.8 Pa). Su funcionamiento se basa en el espectro de emisión del mercurio que emite, principalmente una radiación ultravioleta. Para transformar estas radiaciones en visibles se recubren las paredes del interior del tubo con polvos fluorescentes.

Dependiendo de la composición de estas sustancias se varía la calidad de luz y las cualidades cromáticas. En la actualidad se usan dos tipos de polvos, los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten radiación de los tres colores primarios para conseguir el blanco.

Estos tipos de lámparas están formadas por un tubo de diámetro normalizado, en cuyos extremos se encuentran dos casquillos con los electrodos. Este tubo está relleno de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte para provocar el encendido y controlar los electrones.

A diferencia de otras lámparas, la eficiencia de la misma depende en parte de la temperatura ambiente, ya que determina la presión a la que se encuentra el gas. Dependiendo de las características, su eficiencia está entre 38 lm/W y 91 lm/W.

Las lámparas de fluorescencia necesitan de elementos auxiliares para su correcto funcionamiento. El cebador es el más destacable y se utiliza para calentar los electrodos antes de conectarlos a la tensión de arranque. Otro sistema para realizar esta función es calentar constantemente los electrodos o aplicar una tensión elevada en la ignición.

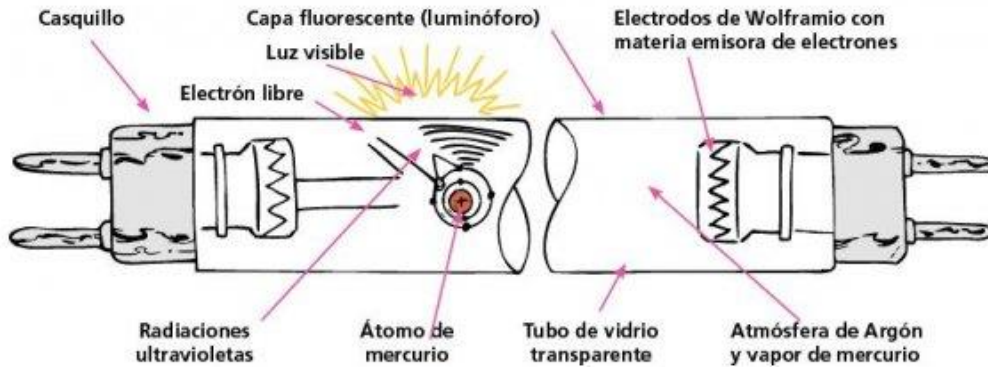


Figura 20 Lámpara fluorescente

- Lámpara de vapor mercurio a alta presión

Estas lámparas difieren con respecto a las anteriores en que la presión de vapor de mercurio es más elevada, lo que provoca que éste emita más radiación visible y que la luz ultravioleta pierda importancia.

La luz que emite se caracteriza por tener un color azul verdoso y no tener radiaciones rojas. Para resolver este problema se añaden sustancias fluorescentes que emiten en esta tonalidad.

La temperatura de color oscila entre 3.500°K y 4.500°K. Su vida útil es de 8.000 horas aproximadamente y su eficiencia oscila entre 40 lm/W y 60 lm/W.

Sus principales componentes son:

- Tubo de descarga y soporte: Está compuesto de cuarzo ya que soporta altas temperaturas y absorbe poca radiación ultravioleta y visible.
- Ampolla exterior: Dependiendo de la temperatura que tenga que soportar se fabrica en vidrio de cal-soda, si la lámpara es de baja potencia y no alcanza altas temperaturas, o de vidrio de boro-silicato si tiene que soportar altas temperaturas.
- Revestimiento de la ampolla: Se suele utilizar fósforo blanco para transformar la radiación ultravioleta en visible.
- Gas de relleno: Se llena el tubo de descarga con argón ya que al ser un gas inerte ayuda a provocar la descarga de electrones y prolongar la vida de los electrodos.
- Electrodos: Están formados por una barra de wolframio en cuyo extremo se encuentra una serpentina de wolframio recubierta por un material que ayuda a la emisión de electrones. Los electrodos de arranque aportan una resistencia de 25kΩ.

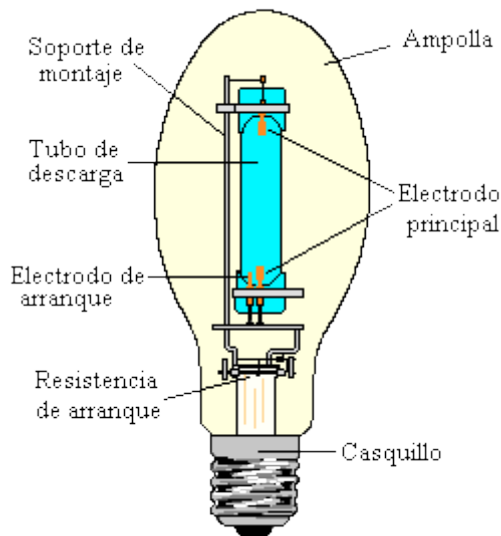


Figura 21 Lámpara de mercurio de alta presión

- Lámpara de luz de mezcla

En las lámparas de luz de mezcla se combinan las lámparas de mercurio de alta presión con las lámparas incandescentes. Como resultado se obtiene una buena reproducción del color con un rendimiento de 60 y una temperatura de color de 3.600°K. Esto se consigue gracias a la superposición del espectro continuo de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas de la fosforescencia, al espectro del mercurio. Su eficacia está comprendida entre 20 lm/W y 60 lm/W como resultado de la eficiencia de las dos tecnologías.

Estas lámparas están compuestas por una ampolla en la que se alojan un tubo de descarga y un filamento de wolframio.

Las partes que distinguen a este tipo de lámparas de las de descarga son:

Filamento: El mismo material y misma forma que en las lámparas de incandescencia. Se encuentra alojado alrededor del tubo de descarga para una mezcla de luz uniforme. En el ámbito eléctrico éste se encuentra conectado en serie con el tubo de descarga.

Gas de relleno de la ampolla externa: Al igual que en las lámparas de incandescencia, el gas está compuesto de argón pero con una pequeña cantidad de nitrógeno para que no se produzca un arco entre los electrodos externos al tubo de descarga. En este tipo de lámparas la presión es mayor que la atmosférica para mantener la evaporación del wolframio en el mínimo.

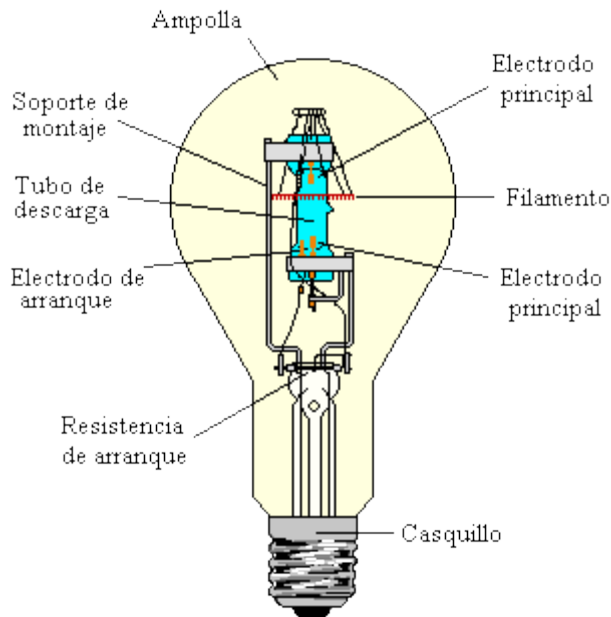


Figura 22 Lámpara de luz de mezcla

- Lámpara de halogenuros metálicos

Es un tipo de lámpara de vapor de mercurio con la característica de que contiene halogenuros poco comunes como el Dysprosio, el Holmio o el Tulio. Los Halogenuros se vaporizan cuando la lámpara se calienta a su temperatura de funcionamiento, y se disocian cuando entran en la zona cercana al arco, consiguiendo aumentar la temperatura, la eficiencia y una temperatura de color entre 3.000°K y 6.000°K, cercana a la luz solar.

La eficiencia de estas lámparas se encuentra entre 60 lm/W y 96 lm/W y su vida media es de 10.000 horas. El inconveniente principal es que tardan unos 10 minutos en el encendido, hasta que se estabiliza la descarga. Otra deficiencia es que se precisan tensiones de arranque de 1.500 V a 5.000 V, necesiándose aparatos especiales.

Debido a sus buenas prestaciones cromáticas son las lámparas ideales para instalaciones deportivas, estudios de cine, proyectores...

Estas lámparas se componen de las siguientes partes:

- Tubo de descarga: Está fabricado en cuarzo, debido a su alta dureza a altas temperaturas. Se aumenta la temperatura en los electrodos aplicando un baño de óxido de circonio en la superficie externa.
- Electrodos: Parecidos a los de las lámparas de mercurio.
- Ampolla exterior: Está compuesta de vidrio duro o cuarzo. Existen modelos que no poseen dicha ampolla.

- Recubrimiento de la ampolla: Al igual que en las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, posee un revestimiento de fósforo que convierte la radiación ultravioleta en visible. A diferencia de éstas, la cantidad de luz ultravioleta que emiten estas lámparas es mucho más pequeña que las de vapor de mercurio a alta presión.
- Gas de relleno de la ampolla externa: Está llena de un gas inerte como es el neón para que la presión dentro y fuera de la ampolla sea la misma. En las lámparas que no poseen ampolla externa, el tubo está relleno de criptón-argón.
- Gas de relleno del tubo de descarga: El argón, neón o criptón-argón son los gases de los que están rellenos estos tubos, además de una pequeña proporción de mercurio y una serie de halogenuros en función del tipo de lámpara.

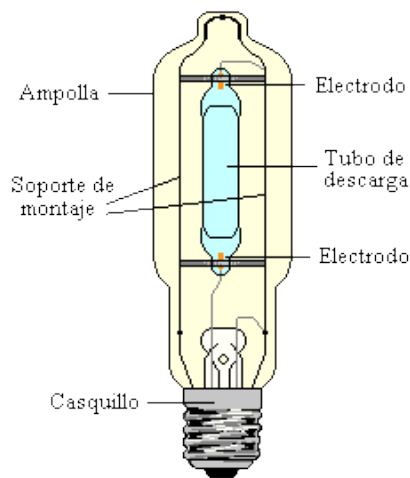


Figura 23 Lámpara de halogenuros metálicos

#### 3.2.3.3.3 Lámpara de descarga de vapor de sodio

Son similares a las de mercurio. La única diferencia es que en vez de mercurio, el tubo de descarga está lleno de vapor de sodio.

Se distinguen dos tipos en función de la presión del sodio.

- Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Su funcionamiento es similar a las fluorescentes, con la diferencia de que en las de vapor de mercurio la luz se produce gracias a la conversión de la luz ultravioleta emitida por el mercurio, y en las de vapor de sodio la luz se crea directamente en la descarga del sodio, produciendo una radiación monocromática característica.

Son lámparas con alta eficiencia lumínica, unos 200 lm/W, y una vida larga. Su principal característica es que su luz de tono amarillo es muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano. Su inconveniente es que posee un índice de reproducción cromática bajo.

Estas lámparas tienen forma de U para minimizar el calor emitido y reducir el tamaño de la lámpara. Puesto que el sodio es un material muy corrosivo los componentes de la lámpara deben estar fabricados en materiales muy resistentes.

El tubo de descarga está dentro de una ampolla sometida a vacío, con lo que se aumenta el aislamiento térmico y se favorece que el tubo alcance la temperatura necesaria de funcionamiento.

La lámpara posee electrodos de arranque en frío, fabricados en wolframio para aguantar las altas temperaturas.

Un inconveniente es que tarda unos 10 minutos en arrancar, el tiempo desde que se inicia la descarga hasta que se vaporiza la mezcla de gases inertes y empiezan a emitir luz.

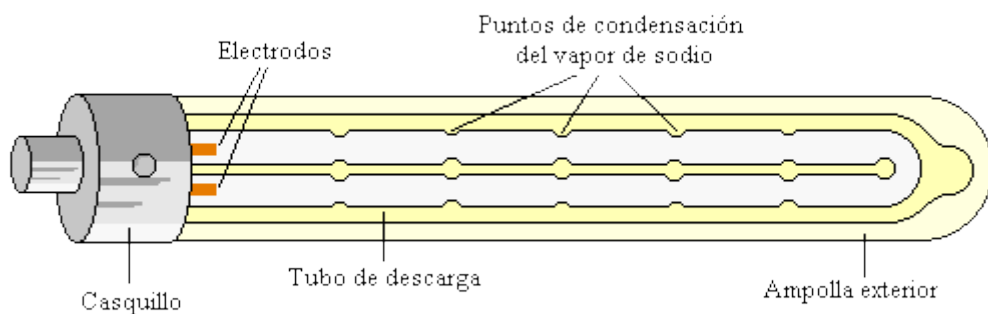


Figura 24 Lámpara de vapor de sodio a baja presión

- Lámpara de vapor de sodio a alta presión

Este tipo de lámparas se caracterizan por tener una alta presión de funcionamiento, una alta temperatura de unos 1000°C y un desgaste químico producido por los vapores. Su funcionamiento se debe a la mezcla de sodio; vapor de mercurio, para amortiguar la descarga; y xenón que ayuda en el arranque y reduce las pérdidas químicas.

Estas lámparas abarcan todo el espectro visible, lo que dota a la luz de un tono blanco más cómodo que las de baja presión.

Debido a esto, el rendimiento de color y la suficiencia para reproducir los colores es mucho más alto que en las de baja presión, siendo éstas de 2.100°K y 25 respectivamente. A pesar de poseer una calidad de luz tan buena, la eficacia es de unos 130lm/W.



En cuanto a la vida media, estas lámparas poseen 20.000 horas con una vida útil de unas 12.000 horas. Las causas principales de que no tengan una vida útil mayor son las fugas del vapor del tubo y en incremento gradual de la tensión de encendido.

Entre los usos más comunes se encuentra la iluminación de naves industriales, decoración y alumbrado público.

Los componentes de estas lámparas son los siguientes:

- Ampolla exterior: Suele ser ovalada o cilíndrica, está vacía y posee un recubrimiento de una capa de polvo blanco para reducir el brillo del tubo de descarga.
- Tubo de descarga: Debido a las altas temperaturas que alcanza y las propiedades corrosivas de los vapores que alberga, el tubo está fabricado en óxido de aluminio sinterizado.
- Gas de relleno: Se caracteriza por emitir poca luz ultravioleta y está compuesto de sodio, mercurio y xenón o argón.
- Electrodo: Como en casi todas las lámparas está hecho de wolframio y consiste en una varilla con un filamento alrededor de la misma.
- Arrancadores: Su función es disminuir el pico de voltaje del encendido necesario para ponerlas en funcionamiento. En ocasiones se encuentran en la misma lámpara.

Su principal inconveniente es que poseen una tensión de encendido muy alta.

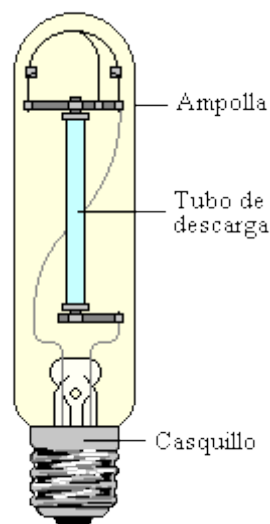


Figura 25 Lámpara de vapor de sodio a alta presión

#### 3.2.3.3.4 Lámpara de inducción

Las lámparas de inducción se basan en un principio distinto de las expuestas anteriormente. En éstas no se usan electrodos, si no que la corriente se introduce con un inductor de ferita alrededor del cual se enrolla un cable.

Se hace pasar por los cables una corriente de alta frecuencia que genera un campo electromagnético en el interior del tubo. Dicho campo excita los átomos de mercurio, los cuales emiten luz ultravioleta.

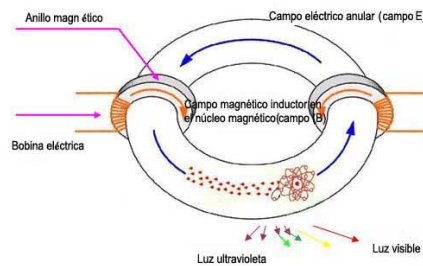


Figura 26 Principio de funcionamiento de las lámparas de inducción

Una de las ventajas de usar esta tecnología para ionizar el gas es que se evita que se rompa o que se desgaste el electrodo al carecer de éste.

Existen dos tipos de lámparas de inducción:

- Lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos

Debido al funcionamiento explicado anteriormente y al carecer de electrodos que limiten la vida de la lámpara, éstas llegan a una vida de hasta 60.000 horas. Se pueden aumentar la potencia hasta 150W, dando un flujo luminoso de 12.000 lúmenes, aunque tenga una eficiencia luminosa no muy elevada de 80 lm/W.

Estas lámparas poseen también un equipo para controlar la energía óptima de descarga y dotar a la misma de una buena eficiencia.



Figura 27 Lámpara fluorescente de alta presión sin electrodos

- Lámpara de descarga de gas a baja presión por inducción

Son una variante de las anteriores. Disponen además de un recipiente de descarga con un gas a baja presión. Este recipiente está compuesto por un núcleo en formas de anillo de ferrita que crea un campo magnético dentro del recipiente de descarga que provoca una corriente eléctrica en el gas que lo ioniza.

Estas lámparas, al igual que las anteriores, se caracterizan por poseer una larga vida, en torno a 60.000 horas, un flujo luminoso de hasta 12.000 lúmenes, una eficiencia de 80 lm/W y una potencia de hasta 165W.



Figura 28 Lámpara de descarga de gas a baja presión por inducción

### 3.2.3.4 LED

Un LED no es más que un diodo que emite luz, es decir, un componente optoelectrónico pasivo.

#### 3.2.3.4.1 Principio de funcionamiento

Al aplicar una tensión en un LED de forma que se polarice directamente, los electrones de la corriente eléctrica fluyen a través del diodo. Cuando un electrón en exceso con carga negativa se encuentra en la región negativa “N”, adquiere energía hasta que éste vence la resistencia de la barrera de potencial. En el momento en que se combina con un hueco positivo de la región “P”, éste libera ondas electromagnéticas en forma de fotón de luz [5].

Dependiendo de la polaridad del LED, se producirá un intercambio de electrones o no, emitiendo luz.

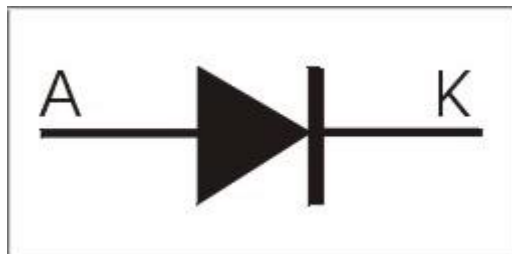


Figura 29 Símbolo de un diodo LED

#### 3.2.3.4.2 Teoría de bandas

Esta teoría explica la disposición y distribución de los electrones en el átomo.

Cuando se da una unión entre átomos, el número de orbitales de valencia aumenta, de modo que mayor será la energía cuantos más átomos haya. Dependiendo del material, se encontraran rangos de energía en los que no existen orbitales atómicos, llamadas bandas prohibidas o brechas.

Hay dos clases de bandas energéticas:

- Banda de conducción: En esta banda se encuentran los electrones gracias a los cuales se produce la corriente eléctrica. Son electrones libres, desligados de los átomos con libertad de movimiento.
- Banda de valencia: A este grupo pertenecen los electrones situados en la última capa o nivel energético de los átomos.

Por consiguiente, los materiales conductores tienen que tener la menor separación posible entre los dos tipos de bandas, incluso estar montadas.

Dependiendo de la separación entre las bandas los materiales se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Aislante: Estos materiales impiden que los electrones puedan pasar de una banda a otra de forma fácil. La energía de la banda de valencia es mayor que la de conducción y la separación entre éstas es grande.
- Semiconductor: En estos materiales la separación entre bandas es menor que en los aislantes pero la energía de la banda de conducción es un poco superior que la de la valencia, lo que impide la conducción eléctrica.
- Conductor: A este grupo pertenecen los materiales cuya energía de banda de conducción es mayor que la de valencia. Poseen una separación pequeña entre bandas llegando incluso a solaparse, lo que facilita que los electrones puedan moverse entre bandas libremente.

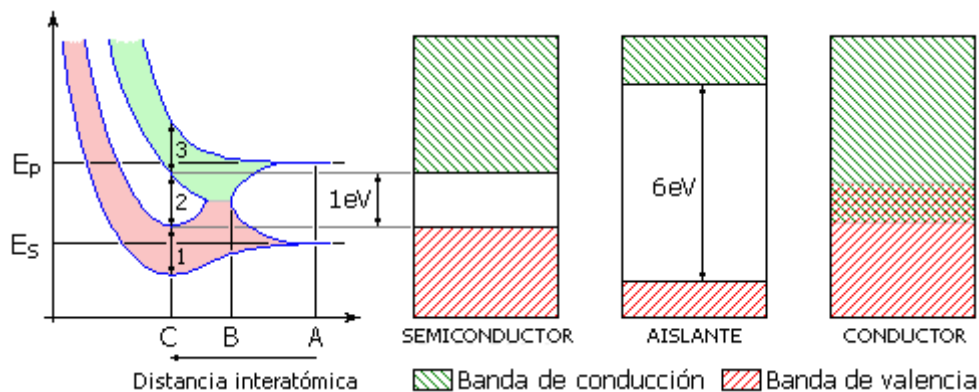


Figura 30 Bandas eléctricas de los distintos materiales

#### 3.2.3.4.3 Tipos de materiales semiconductores

Un material semiconductor se caracteriza por conducir la electricidad mejor que un aislante pero peor que un conductor en función del campo eléctrico al que esté sometido. El material semiconductor más usado es el silicio junto con el azufre. Ambos materiales son tetravalentes con una configuración electrónica  $s^2p^2$ .

Dependiendo de la pureza del semiconductor existen dos tipos:

- Intrínsecos: En estos materiales la corriente total es cero a pesar de haber flujos de huecos y electrones. Son los denominados semiconductores puros.
- Extrínsecos: No deja de ser un semiconductor intrínseco dotado de un pequeño porcentaje de impurezas que modifica las propiedades de conductividad: lo dopa.

Según el tipo de dopaje:

- Dopaje N: En este tipo de dopaje se añaden átomos donantes que aportan electrones para aumentar el número de portadores de carga libre. Las sustancias más empleadas son átomos nitrogenoides como el Arsénico, el Fósforo o el

Antimonio, que poseen cinco electrones en su última capa de la configuración electrónica.

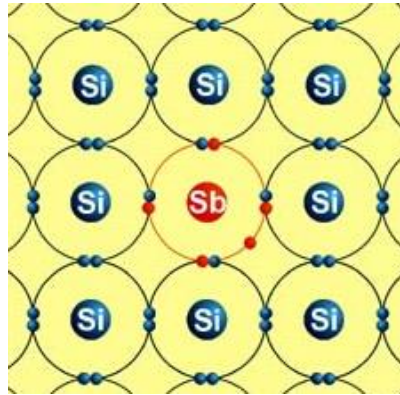


Figura 31 Estructura atómica de un semiconductor tipo N

- Dopaje P: En este caso se añaden átomos trivalentes (tres electrones en su última capa) como el galio. Al unirse esa impureza a los átomos del semiconductor por medio de un enlace covalente, queda un hueco carente de un electrón para completar los ocho electrones de su última órbita. Por lo tanto, el galio capta los electrones faltantes que aporta el semiconductor para contrarrestar las cargas eléctricas. Por este motivo el dopaje tipo P favorece a que el material adquiera propiedades conductoras

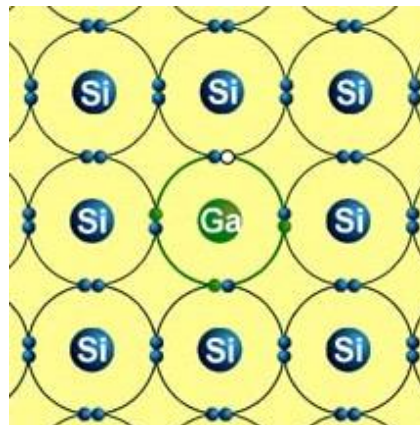


Figura 32 Estructura atómica de un semiconductor tipo P

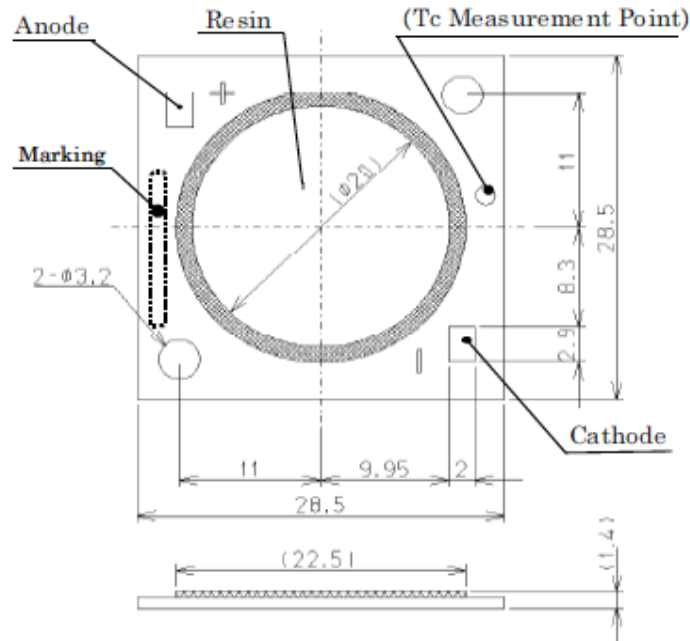


Figura 33 Módulo LED

#### 3.2.3.4.4 Diferencias entre materiales semiconductores

No todos los materiales semiconductores tienen las mismas características a la hora de emitir radiación electromagnética, si no que cada uno emite con una longitud de onda, siendo mayor cuanto mayor sea el salto de órbita entre bandas, es decir cuanto mayor sea el salto de energía.

A continuación se muestran diferentes materiales semiconductores con sus correspondientes longitudes de onda.

Material Semiconductor	Longitud de onda espectral
Nitruro de Indio	450nm
Carburo de Silicio	480nm
Nitruro de Galio	525nm
Fosfuro de Galio	560nm
Arseniuro Fosfuro de Galio	630nm
Arseniuro de Galio y Aluminio	890nm
Arseniuro de Galio	940nm

Tabla 4 Longitud de onda característica del material semiconductor

Usando estos materiales y combinándolos se han conseguido emitir cualquier tipo de tonalidad excepto la blanca. Ésta únicamente se puede crear utilizando un LED de color azul con una capa de fósforo que la filtre. Dependiendo de la capa de fósforo se consiguen temperaturas de color de luz blanca más frías o cálidas.

#### 3.2.3.4.5 Tipos de LEDs

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado distintos diseños de LEDs, todos enfocados hacia un consumo eficiente y un diseño compacto.

- En función de la distribución de los LEDs y el encapsulado de los mismos se distinguen los siguientes tipos:
  - Placas LED PCB: Consiste en un LED encapsulado en una resina semirrígida que se conecta a una placa con un circuito impreso. El encapsulado posee una gran superficie semiconductora, lo que mejora la calidad del LED. Una forma común de conectarlos entre ellos es en serie, para crear por ejemplo una bombilla o luminaria. Además cuentan con dispositivo que permite que los LEDs sigan funcionando en caso de que alguno se dañe.  
El índice de reproducción cromática es de 80,- reproduce los colores con fidelidad-.

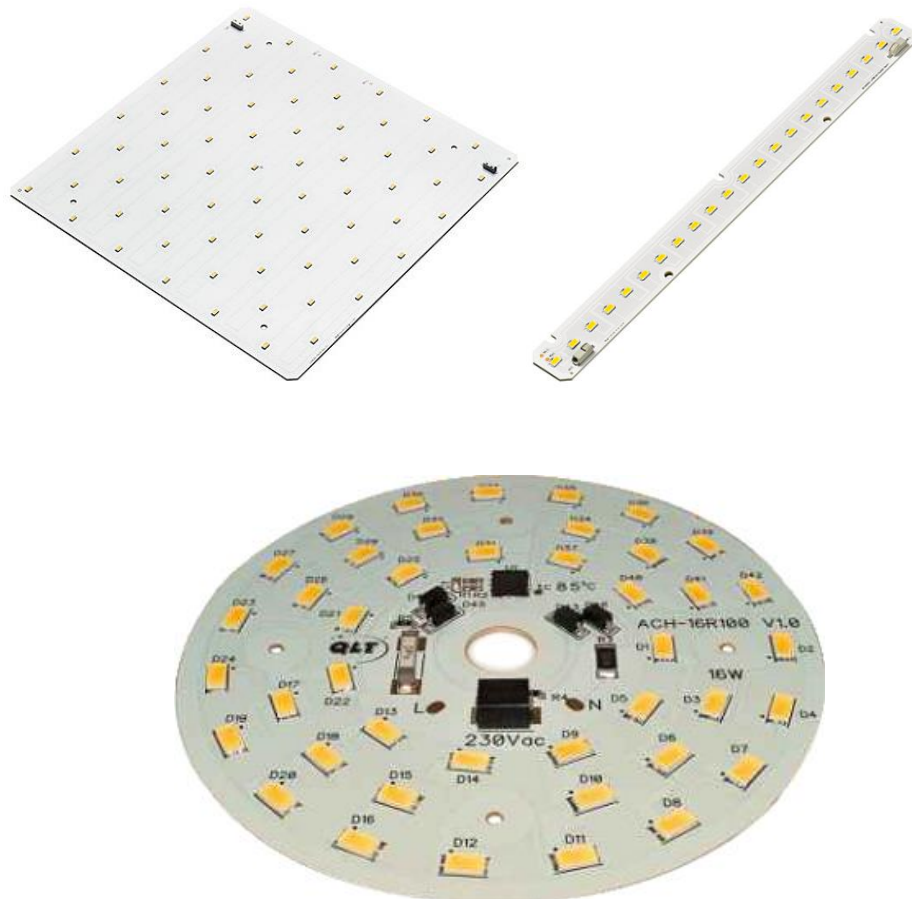


Figura 34 Placas LED PCB



- Módulos LED COB: Este tipo de módulo está formado por un conjunto de LEDs que se alojan en el mismo encapsulado. Estos LEDs están ganando terreno a los otros ya que poseen más rendimiento lumínico y tiene unas dimensiones mucho menores si se compara con una placa LED que emita los mismos lúmenes. Poseen un índice de reproducción cromática mayores de 90, lo que los hacen mejores que las placas LED.



Figura 35 Módulo LED

También existen en el mercado adaptaciones de tecnología convencional. Es la solución más económica para cambiar una lámpara por tecnología LED sin tener que cambiar la luminaria entera.



Figura 36 Adaptaciones de lámparas convencionales

#### 3.2.3.4.6 Ventajas e Inconvenientes de la iluminación LED

La principal característica que hace al LED una buena fuente de iluminación es su alta eficiencia, con un valor aproximado de 150 lm/W.

Otra ventaja es que posee una vida útil de hasta 50.000 horas, en las que el flujo es igual o superior al 70% del inicial, lo que reduce las veces que hay que reemplazarlas.

El principal inconveniente del LED es que no debe de superar la temperatura máxima para asegurar una fiabilidad en la vida útil del mismo. Esto conlleva un diseño más complejo en la luminaria, obligando a hacer estudios térmicos que corroboren que no se supera dicha temperatura, encareciendo la luminaria.

Otra objeción que se encuentra es que el LED es muy delicado y del manejo, manipulación y montaje que se le dé dependerá la vida útil del mismo.

Debido a estos factores, una luminaria LED es más cara que las convencionales, lo que obliga a calcular el tiempo de amortización y de retorno a partir del cual el instalar dicha tecnología en lugar de otra sale rentable.

### 3.2.3.5 OLED

Un OLED, como sus siglas en inglés indican, no es otra cosa que un diodo orgánico de emisión de luz. Su diferencia principal con los LEDs convencionales reside en la capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan cuando se les aplica una corriente eléctrica específica.

Al igual que en los LED, está formado por dos superficies, una de emisión y otra de conducción, comprendidas entre una capa de sustrato. Por lo general están hechas de polímeros semiconductores orgánicos. Dependiendo del tipo de material semiconductor y de la estructura de las partes, se consigue un tipo de color emitido, un tiempo de vida y la eficiencia energética.

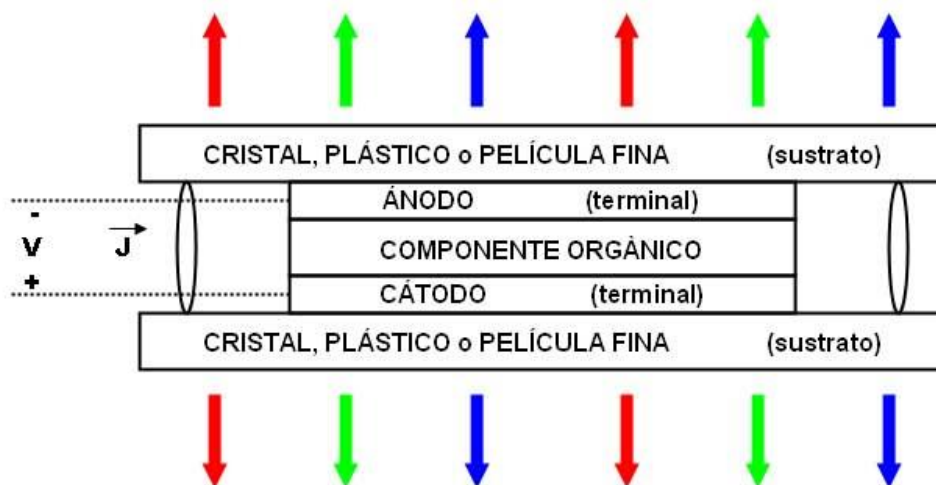


Figura 37 Estructura OLED

Sus usos más comunes son en pantallas de televisión u ordenadores. En el campo de la iluminación no se usa mucho ya que los niveles de luz son inferiores que los de los LED, a pesar de ser más ecológicos y baratos.

Una característica muy llamativa es su flexibilidad, lo que da mucho juego a la hora de diseñar luminarias con formas curvas.

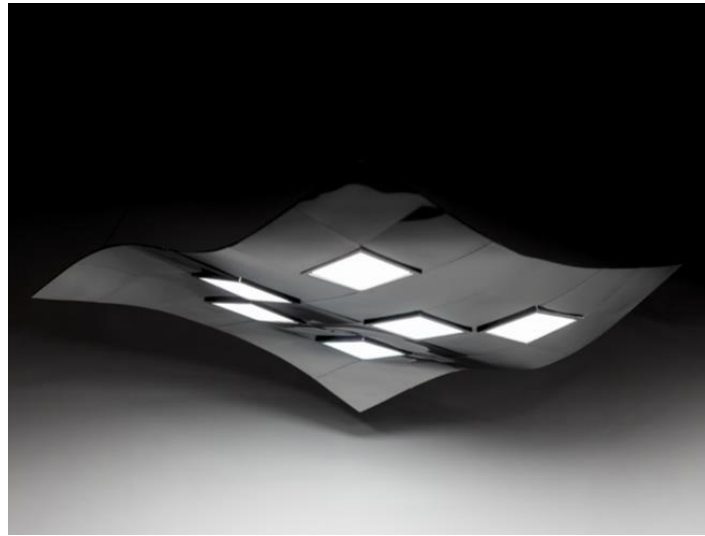


Figura 38 Luminaria OLED

### 3.3 Iluminación eficiente (eficiencia lumínica)

La iluminación supone un porcentaje muy alto del consumo eléctrico que se da en muchos edificios. Por ello la instalación de luminarias eficientes y la investigación en el campo de la eficiencia lumínica supone un factor importante para conseguir un ahorro económico luz [6].

Sector	Energía eléctrica empleada en iluminación
Comercios	15-70%
Oficinas	50%
Hoteles	25-50%
Hospitales	20-30%
Industria	15%
Colegios	10-15%
Residencial	10-15%

Tabla 5 Clasificación energía iluminación según sector

A continuación se estudia una serie de factores a tener en cuenta a la hora de diseñar una luminaria eficiente.

### 3.3.1 Evaluación del consumo energético

Para poder hacer un estudio del gasto económico que supone una instalación de iluminación debe conocerse el consumo energético que tiene ésta. Los factores de los que depende dicho consumo son los siguientes:

#### a) Potencia Instalada

Es la suma de las potencias de las distintas luminarias de la instalación teniendo en cuenta además la potencia del equipo de la luminaria.

#### b) Horas de uso

Son las horas que están encendidas las luminarias. Depende principalmente de las horas de luz natural, de la ocupación del espacio iluminado y del sistema de control empleado en el caso de que lo haya.

#### c) Consumo energético

El consumo energético se calcula dividiendo la potencia instalada entre las horas de uso. Su unidad es el kW/h.

### 3.3.2 Valoración económica y medioambiental

Es importante hacer una valoración económica y medioambiental de la instalación de la luminaria para conocer en qué aspectos hay una posible mejora de la misma. Para ello se debe tener en cuenta el coste de inversión inicial y el coste de energía facturada para poder realizar el estudio.

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para mejorar la instalación.

- Precio unitario de la luminaria
- Vida útil de la luminaria
- Tarifa de energía eléctrica
- Número de luminarias necesarias
- Consumo de cada luminaria
- Horas anuales de funcionamiento
- Financiación y amortización

### 3.3.3 Vida de la lámpara

Una instalación deja de ser eficaz cuando la lámpara deja de ser funcional, es decir, que los niveles de flujo requeridos son insuficientes. Llegado este punto es necesario

reemplazar la lámpara, LED o incluso la luminaria. Si la tecnología empleada en el estudio de iluminación es la adecuada se puede decir que la lámpara cumple las expectativas y ha generado un ahorro energético y económico durante su funcionamiento.

Para entender los tiempos en los que la vida de la lámpara se acaba y los tiempos en los que la lámpara deja de ser eficaz, se deben entender los siguientes conceptos.

- Vida media: Es el número de horas de funcionamiento a las cuales la mortalidad de un lote representativo de fuentes de luz del mismo tipo alcanza el 50% de las condiciones especificadas por el fabricante.
- Vida útil o económica: Es el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación alcanza un valor tal que la fuente de luz no es rentable, por lo tanto se aconseja su sustitución. Por lo general el flujo especificado para estos casos suele ser el 70%, en algunos casos incluso el 80%.

En el caso de las lámparas incandescentes la vida útil se corresponde con la vida media.

Tipo de lámpara	Vida media	Vida útil (flujo al 70%)
Incandescencia	1000	1000
Halógena	2000	2000
Fluorescencia Tubular	12500	7500
Fluorescencia Compacta	8000	6000
Vapor Mercurio a Alta Presión	24000	12000
Luz Mezcla	9000	6000
Vapor de Sodio a Baja Presión	22000	12000
Vapor de Sodio a Alta presión	20000	15000
LED	60000	50000

Tabla 6 Vida media y útil dependiendo del tipo de lámpara

### 3.3.4 Rendimiento de la luminaria

El rendimiento de una luminaria viene dado por la relación entre el flujo luminoso que emite la luminaria y el flujo luminosos de la lámpara.

Los componentes principales de la luminaria que influyen directamente en el rendimiento son los ópticos, como pueden ser los reflectores y las lentes.

A la hora de elegir una luminaria es preciso conocer la tarea que va a realizar, y se debe tener en cuenta que un elevado rendimiento y una apropiada distribución de la luz aseguran un sistema de alumbrado de calidad y bajo coste.

### 3.3.5 Elección de los componentes

Para que una luminaria sea buena no basta con que sea eficiente, sino que tiene que reunir unas características lumínicas buenas. Para conseguir esto hay que alcanzar el equilibrio entre calidad y eficiencia.

Por ejemplo, las lámparas incandescentes poseen un índice de reproducción cromática (CRI=100) y una temperatura de color de 2.700K, en cambio poseen una eficiencia luminosa muy baja. Por el contrario las lámparas fluorescentes son más eficaces pero poseen un índice de reproducción cromática más bajo.

Dependiendo de unos casos u otros convendrá más que posea unas características lumínicas buenas o una eficiencia elevada.

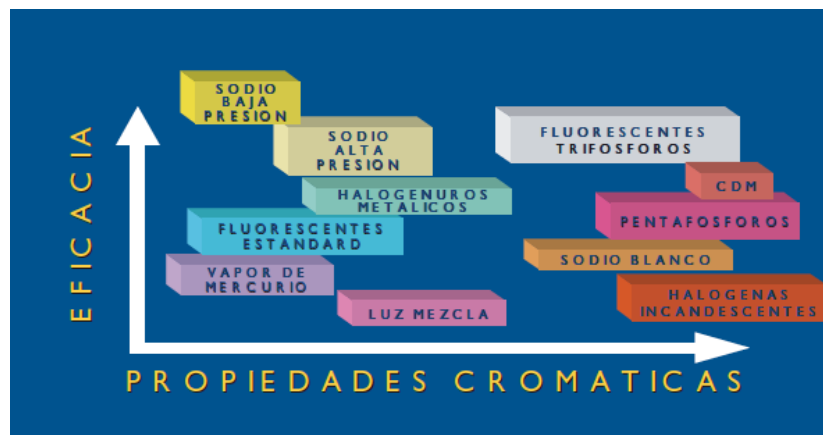


Figura 39 Gráfico eficacia frente a propiedades cromáticas

#### 3.3.5.1 Elección equipo auxiliar

Un componente que influye sustancialmente en la eficiencia de la luminaria es el equipo auxiliar. Los equipos electrónicos comparados con los electromagnéticos ofrecen numerosas ventajas, tanto en calidad como en ahorro. Las principales ventajas son:

- Reducción del 25% de la energía consumida.
- Aumento de la eficacia de la lámpara.
- Incremento de la vida de la lámpara.
- Encendido instantáneo.
- Luz sin parpadeo estroboscópico y más agradable gracias al pre-caldeo de los electrodos.
- Más confortable al eliminarse los ruidos.
- Posible control en el nivel de luz y el encendido.

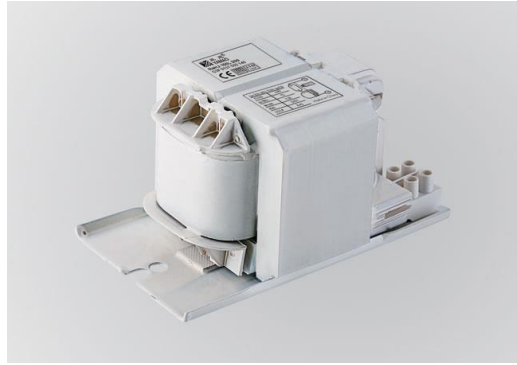


Figura 40 Balastro electromagnético



Figura 41 Balastro electrónico

### ***3.3.5.2 Elección de la luminaria***

En función de la utilidad que se le quiera dar a la luminaria existen dos tipos. Una funcional donde la prioridad se encuentra en orientar la luz de forma eficiente y otra cuya finalidad es crear un determinado ambiente y resaltar objetos y colores. Para elegir correctamente una luminaria habrá que considerar ambas funciones.

La manera más adecuada para conseguir una iluminación general y otra localizada que permita abastecer las necesidades del espacio, es el uso de más de un tipo de luminaria.

Se debe tener en cuenta a la hora de elegir una luminaria la manera de distribuir la luz que ésta emite de la mejor manera posible, y que no exista la necesidad de instalar más luminarias de las necesarias, ni de sobrealimentarlas, ni de sobrepasar la potencia requerida, aumentando el consumo y deteriorando más rápidamente las lámparas.

### ***3.3.5.3 Aprovechamiento de la luz natural***

Otro factor importante a la hora de elegir una instalación de una luminaria es considerar y aprovechar la luz natural que posea el espacio, ya que se reduce sustancialmente el consumo eléctrico.

Los factores que más afectan al aprovechamiento de la luz natural son la profundidad del espacio y el tamaño la localización de las entradas de luz, como pueden ser las ventanas y lucernarios.

#### **3.3.5.4 *Sistemas de Regulación y Control***

El encargado de aprovechar la luz natural de forma automática entre otras funciones es el sistema de regulación y control. Sus funciones básicas son el encendido y apagado de la instalación de las luminarias, aunque también pueden regular las luminarias de acuerdo a sensores de presencia, movimiento, células fotosensibles y calendarios y horarios definidos.

Estos sistemas permiten un mejor aprovechamiento de la energía reduciendo el consumo y por tanto los costes energéticos hasta en un 70%.

#### **3.3.5.5 *Gestión y mantenimiento energético***

Puesto que con el paso del tiempo la eficiencia energética de la luminaria disminuye, conviene instalar un producto que no necesite un mantenimiento reiterado o planificarlo en función de:

- Limpieza de las luminarias.
- Sustitución de las lámparas dañadas.
- Revisión periódica de la instalación eléctrica.
- Control del consumo

### **3.4 La luminaria**

Una luminaria es un aparato de alumbrado que distribuye, filtra y transforma la luz que emite una o varias lámparas. Están compuestas principalmente por dispositivos de soporte, de fijación de protección de las lámparas y, en el caso de que las necesite, de circuitos auxiliares y sistemas de conexión a la red de alimentación.

La función principal de una luminaria es abastecer de luz un espacio en el que por necesidad o normativa, dependiendo del tipo de construcción, debe estar iluminado.

Otra función importante es el diseño. En la actualidad los fabricantes persiguen un diseño que permita el mayor control posible sobre la luz obtenida gracias a los materiales utilizados.

Gracias al uso de estos materiales y de un diseño del conjunto óptimo se consigue que las luminarias sean cada vez más eficiente y requieran de un mantenimiento y un replazamiento mínimo. Otros factores a tener en cuenta a la hora de diseñar una luminaria es que sea de fácil montaje e instalación, que posea una economía de producto moderada y que el impacto ambiental sea el mínimo posible [7].



### 3.4.1 Elementos comunes

- **Cuerpo o carcasa:** Es el elemento al que se encuentran unidos el resto de componentes y en cuyo interior se suelen albergar. Hace que las partes de la luminaria forme un conjunto estable.
- **Lámpara:** Es la encargada de transformar la energía eléctrica en lumínica. Dependiendo de su uso, se empleará uno u otro tipo.
- **Equipo de alimentación:** Su función es la de abastecer de corriente eléctrica a las fuentes de luz, ya sea continua o alterna.

Las luminarias están compuestas de distintos tipos de componentes que, funcionando correctamente entre ellos, permiten sacar a la fuente de luz todo su potencial. Se pueden clasificar en tres tipos: ópticos, mecánicos y eléctricos.

#### 3.4.1.1 Componentes Ópticos

Para poder comprender y entender cómo funcionan los componentes ópticos, se explica a continuación los fenómenos físicos que la luz puede experimentar en los mismos y por los cuales la luz varía sus características al estar afectada por dichos componentes.

##### 3.4.1.1.1 Reflexión de la luz

Es el cambio de dirección de una onda electromagnética visible cuando choca contra una superficie.

Dependiendo de la superficie con la que choque se pueden producir dos tipos:

- **Reflexión especular:** Se da cuando la superficie donde incide la luz es completamente lisa, en este caso los rayos salen reflejados todos en la misma dirección.
- **Reflexión difusa:** Se produce cuando la superficie donde incide la luz es rugosa, en este caso todos los rayos no se reflejan en la misma dirección, por lo que la imagen que se refleja no es similar a la real.

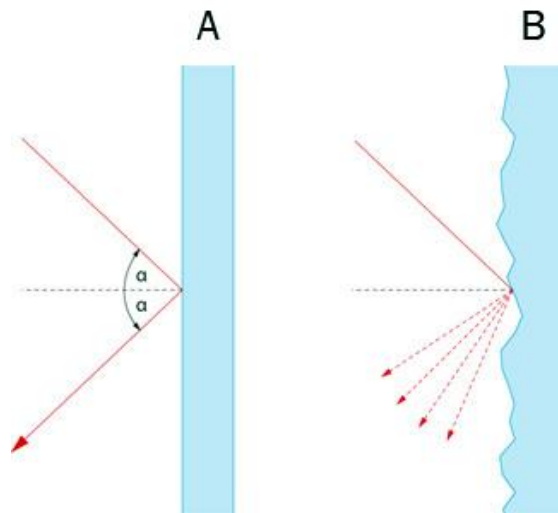


Figura 42 Reflexión especular y difusa

#### 3.4.1.1.2 Refracción de la luz

Se produce cuando la luz, al pasar de un medio a otro, cambia su dirección. Este fenómeno está causado porque la velocidad de propagación de las ondas varía de un medio a otro. Para que se desvíe dicha onda ésta tiene que incidir de cualquier ángulo menos en dirección perpendicular a la superficie.

El índice de refracción es la medida que determina la reducción de la velocidad de la luz. Está definido como el cociente entre la velocidad de propagación de las ondas en un medio concreto y las velocidades de propagación en el vacío [8].

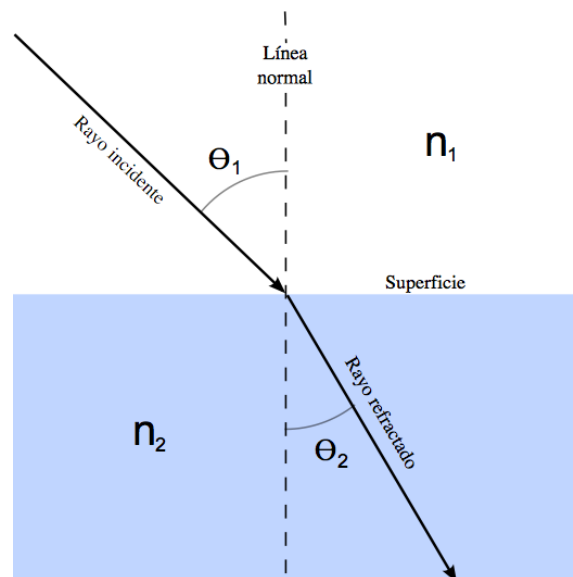


Figura 43 Refracción de la luz

#### 3.4.1.1.3 Absorción de radiación electromagnética

Los materiales captan parte de la energía electromagnética que inciden sobre ellos, en los casos en los que se produce en el rango de luz visible, se denomina absorción óptica. A todos los materiales que absorben todo el rango de luz visible se los denomina materiales opacos. Por el contrario a los materiales que permiten el paso de luz se los llama materiales transparentes, a este fenómeno se le conoce como transmisión de luz.

#### 3.4.1.1.4 Componentes ópticos de la luminaria

Los componentes ópticos de una luminaria se encargan de modificar las características de la luz en función del uso que se le vaya a dar. El diseño de dichos componentes se basa en los principios físicos explicados anteriormente. Se busca conseguir además, una eficiencia y un aprovechamiento máximo de la luz.

A continuación se explican los distintos componentes ópticos:

#### 3.4.1.1.5 Reflectores

Un reflector es una superficie que sirve para reflejar la luz y guiar las ondas electromagnéticas en la dirección deseada. En función de la forma y el acabado del reflector se conseguirá uno u otro guiado de la luz.

En cuanto a la forma del reflector se pueden encontrar de distintos tipos:

- Reflector parabólico: La cualidad óptica de estos reflectores es que si se sitúa la fuente de luz en el foco de la parábola éste proyecta los rayos en dirección paralela al eje de simetría de la parábola. Por el contrario si se varía la posición de la fuente de luz hacia delante o hacia atrás, la luz converge o diverge respectivamente. Estas propiedades hacen de los reflectores parabólicos los más utilizados ya que permiten variar la dirección de la luz en función de la posición del foco. Por estas características, es el reflector más utilizado en interiores.

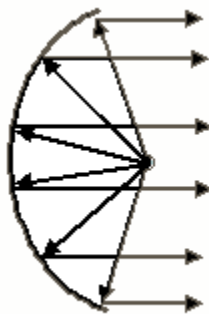


Figura 44 Reflector parabólico

- Reflector esférico: Este tipo de reflectores se suele utilizar en combinación con los parabólicos. Estos reflectores se comportan de diferente manera si el foco se encuentra en el centro de la esfera o se desplaza hacia delante o hacia atrás. En el caso de que el foco se encuentre alejada del centro de la curva los rayos de luz se proyectan de forma paralela al eje de curvatura.

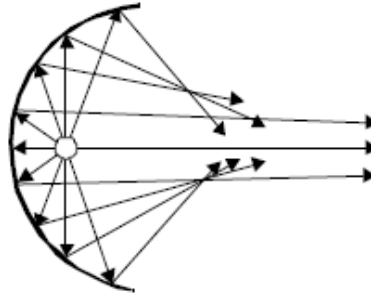


Figura 45 Reflector esférico con fuente de luz alejada del centro de la curva

Por el contrario si la fuente de luz se sitúa en el centro de la curvatura los haces de luz se proyectan directamente por el foco en todas direcciones.

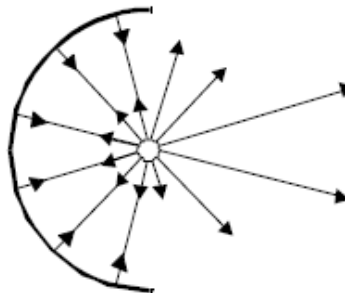


Figura 46 Reflector esférico con fuente de luz en el centro de la curva

Cuando se quiere mejorar el aprovechamiento de la luz se usa la combinación de estos reflectores con los parabólicos. La función del reflector esférico en estos híbridos es intensificar los rayos de la fuente de luz antes de que incidan sobre el reflector parabólico. Una vez en el reflector parabólico, son proyectados perpendiculares al eje de simetría del eje parabólico.

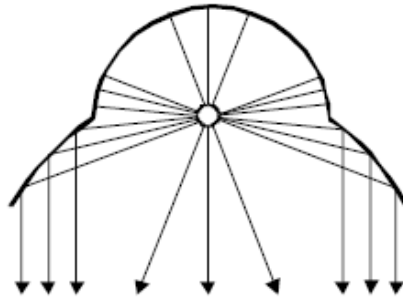


Figura 47 Reflector parabólico combinado

- Reflector elíptico: Estos reflectores tienen forma de elipse, poseen dos focos debido a su forma y, dependiendo de si la fuente luminosa se sitúa en un foco o desplazado del mismo, su distribución luminosa varía.  
Si la fuente de luz se sitúa en un foco de la elipse los haces de luz se proyectan hacia el otro foco.

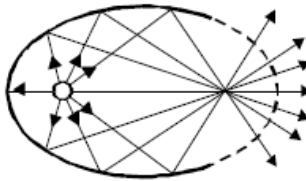


Figura 48 Reflector elíptico con fuente de luz en el foco

Por el contrario si la fuente de luz se encuentra desplazada hacia fuera del centro del foco, los rayos de luz se entrecruzan a lo largo de eje de simetría, si se encuentra desplazada hacia dentro del foco los rayos se entrecruzan en dos puntos simétricos del eje de simetría.

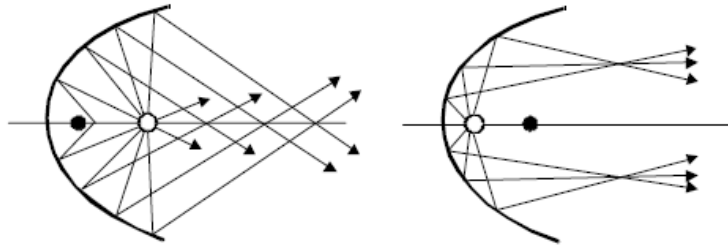


Figura 49 Reflector elíptico con fuente de luz desplazado del foco

- Reflector difusor: Estos reflectores producen un haz de luz, menos nítidos que los de superficie especular, hacia zonas amplias. El acabado para conseguir este efecto es con pintura, colores mates o pintura blanca vitrificada. Con estos reflectores se consigue un grado de luminancia uniforme. No requiere de una forma específica, sí se debe conseguir que los haces de luz interfieran lo menos posible antes de salir del reflector, como se muestra en la figura.

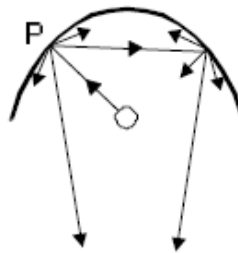
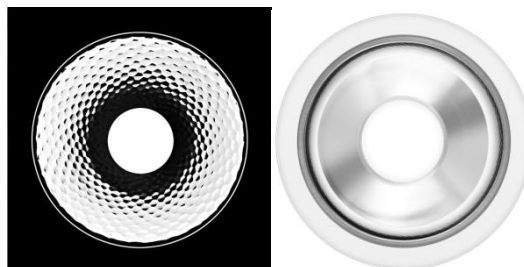


Figura 50 Reflector elíptico con fuente de luz desplazado del foco

En función del acabado superficial del reflector se pueden diferenciar lisos o mates, para dar más o menos uniformidad respectivamente. Para conseguir una mayor o menor apertura se usa un acabado faceteado o martilleado respectivamente.



a)

b)

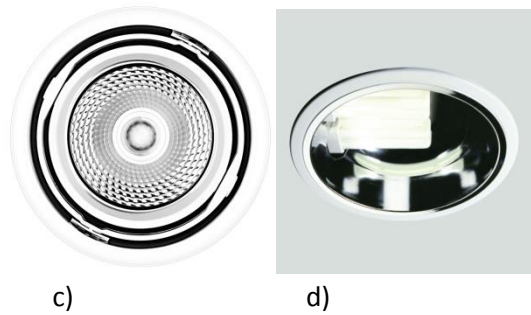


Figura 51 Acabados superficiales. a) Faceteado; b) mate; c) martilleado; d) especular

#### 3.4.1.1.6 Difusores

Los difusores son elementos ópticos que, gracias a las propiedades refractarias de las lentes o prismas, distribuyen la luz en todas direcciones, consiguiéndose así un aumento de la superficie de emisión de luz. Estos componentes ayudan al control de la dirección de los rayos de luz.

Dependiendo del tipo de fuente de luz se emplean unos materiales u otros, pero todos poseen un alto grado de difusión y la mínima absorción de la luz. Para luminarias de incandescencia se suele usar el vidrio opalino, para fluorescencia o LEDs se utilizan el vidrio translúcido, policarbonatos, acrílicos o metacrilatos.

Los difusores más utilizados son:

- Opal: Están formados por un material opaco que, dependiendo del grado de opacidad, se provoca más o menos pérdida lumínica, consiguiéndose así una mejora de la estética de la luminaria, homogeneidad y apantallamiento para reducir el daño al ojo humano en el caso de que se mire directamente a la fuente de luz. Otra función importante es que evita que se marquen las fuentes de luz como pueden ser los LEDs.



Figura 52 Diferentes difusores opales

- Microestructura o difusor Micro-prismático: Consiste en un material óptico acrílico o policarbonato estructurado y translúcido que controla la luz y distorsiona la imagen de la fuente de luz. Este efecto provoca que la imagen sea menos nítida, es decir que no deslumbre y mejore la estética. Estos difusores se suelen utilizar principalmente en iluminación de fluorescentes o LEDs. Están compuestos por un panel que posee prismas cónicos o pirámides en la cara inferior y una superficie lisa en la superior.

Este tipo de difusores se suelen utilizar principalmente en iluminación de interiores debido a las propiedades expuestas anteriormente.

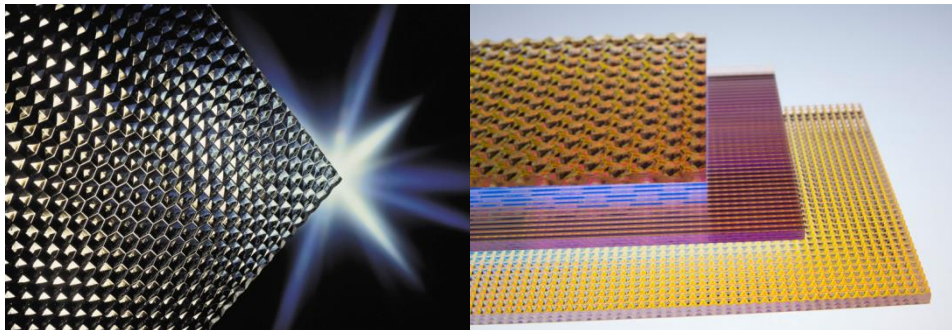


Figura 53 Difusores micro-estructurados

- Guía óptica de la luz de prisma: Es un componente óptico capaz de distribuir los rayos desde una fuente de luz remota basándose en la reflexión y refracción de la luz. Está compuesto de un material acrílico transparente (PMMA) de alta transparencia con una cara serigrafiada, a través del cual se traslada la luz hasta salir despedida.

En este sistema la luz entra desde el borde del panel, se desacopla gracias a la serigrafía y parte de la luz sale despedida por la parte serigrafiada, un 40%, y un 60% por la parte delantera.

Estas guías poseen una eficiencia en torno a un 85%.



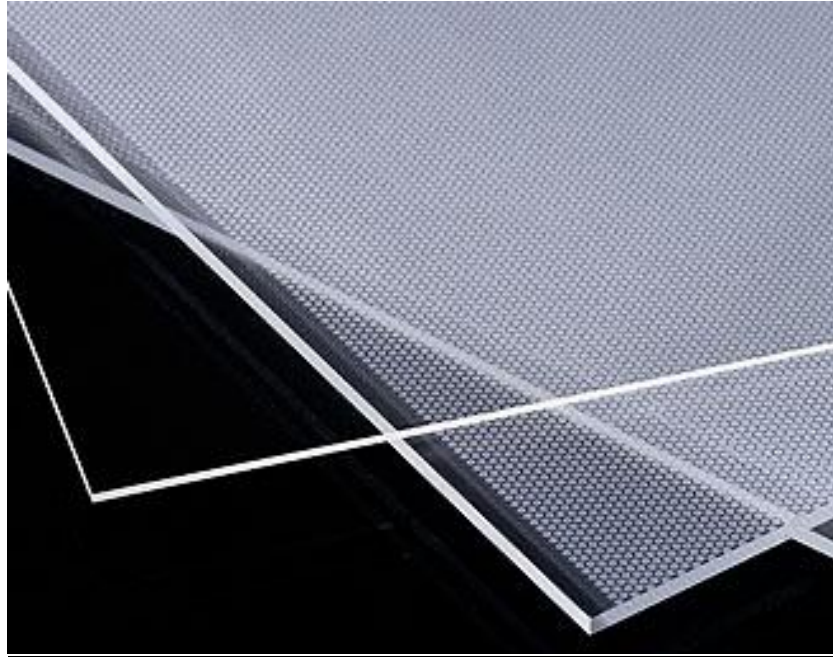


Figura 54 Guía óptica de luz

#### 3.4.1.1.7 Celosías

Son lamas o retículas de color plateado, generalmente aluminio especular, que rompen la imagen de la fuente de luz y modifican la reflexión de la luz evitando deslumbramientos en ángulos cercanos al horizontal. Se utilizan en luminarias de fluorescencia.



Figura 55 Luminaria con celosía

#### 3.4.1.1.8 Lentes

Son componentes ópticos transparentes con dos caras, de las cuales una al menos debe ser curva. Su función es converger o divergir las ondas electromagnéticas visibles. Se usan casi exclusivamente en fuentes de luz puntuales, por regla general se combinan con un reflector y una o más lentes.

En función de donde se encuentre el foco se pueden diferenciar dos tipos:

- Convergentes: Unen en un punto llamado foco todos los haces de luz paralelos al eje principal que pasan por la lente. Se pueden diferenciar varios tipos dependiendo de su forma: biconvexas, planoconvexas y cóncavo-convexas.
- Divergentes: Separan los rayos paralelos al eje principal que pase por la misma, sus proyecciones convergen en el foco. Según su curvatura se distinguen varios tipos: bicóncavas, planocóncavas y convexo-cóncavas.

Dependiendo de la función y del efecto que producen las lentes se pueden clasificar en varios modelos:

- Lentes condensadoras: Orientan la luz de un punto focal hacia un haz paralelo de luz. Sirve para un enfoque exacto de las ondas electromagnéticas que provienen del reflector.

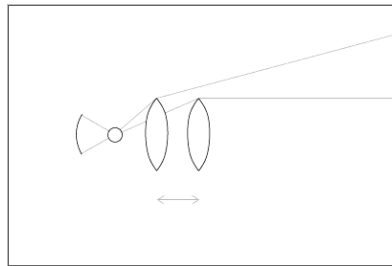


Figura 56 Lente condensadora

- Lentes fresnel: Está compuestas por varios segmentos anulares que se coordinan concéntricamente. El efecto óptico es similar al de las lentes convencionales con la curvatura correspondiente, a diferencia del resto éstas son más planas, ligeras y económicas. Su inconveniente es que el rendimiento es limitado debido a perturbaciones en los cruces de segmentos.

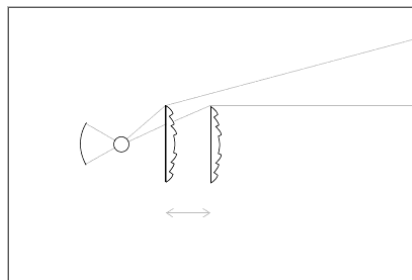


Figura 57 Lente fresnel

- Lente de escultura: Se caracteriza por generar una distribución de luz asimétrica, expande los rayos de luz sobre uno de sus ejes, mientras que en el otro se mantiene uniforme.



Figura 58 Lente de estructura

- Lente dispersora: Se usa en bañadores de pared, genera una distribución asimétrica de la luz al igual que la lente de estructura. En el caso de orientarla horizontalmente, la lente produce un círculo ovalado vertical, consiguiéndose un bañado uniforme.



Figura 59 Lente de estructura

- Lente flood: Esta lente expande simétricamente el cono luminoso, crea una graduación suave del contorno de dicho cono.



Figura 60 Lente flood

- Lente softec: Mediante la dispersión esta lente produce un cono luminoso, esto se produce gracias a un cristal estructurado o mate. Esta lente se emplea para reducir las estrías producidas por lámparas reflectoras.



Figura 61 Lente softec

Basándose en todas las propiedades de las lentes se puede llegar a alcanzar un gran control de la luz si se combinan en un sistema óptico.



Figura 62 Luminaria View Lledó con lente RMBO

#### 3.4.1.1.9 Filtros

Son elementos utilizados para modificar algunas características lumínicas de la fuente de luz, como puede ser el color y reducir la radiación infrarroja o ultravioleta.

Debido al avance en la tecnología LED los filtros están quedando obsoletos, ya que las fuentes de iluminación LED emiten cada vez menos radiación ultravioleta, y gracias a los LEDs RGB se puede emitir cualquier tipo de color sin necesidad de poner una lente.



Figura 63 Filtros polarizadores

#### 3.4.1.2 Componentes Mecánicos

A este grupo pertenecen todas las piezas encargadas de soportar y unir todos los componentes de la luminaria, entre los que se distinguen:

- Cuerpo: Es el componente de la luminaria que se encarga de mantener unidos el resto de elementos y de sujetarlos a la hora de instalar la luminaria, ya sea semiempotrada, en techo, en columnas, suelos o suspendida. La fuente de luz y el equipo puede incorporarse directamente al cuerpo mediante un portalámparas o dotarse de una bandeja de electrificación.
- Bandeja de electrificación: Es el elemento que une el equipo de alimentación al cuerpo y que mediante la corriente proveniente de la red suministra una corriente secundaria la fuente de luz.
- Marco porta-difusores: Consiste en un marco donde se encuentran los difusores. Suele ser un perfil de extrusión de aluminio que sujeta el difusor al resto de componentes.
- Cubierta: Tiene como objetivo proteger los componentes internos del polvo, agua o suciedad. En el caso de que no cumpla ninguna función óptica será lo más transparente posible.

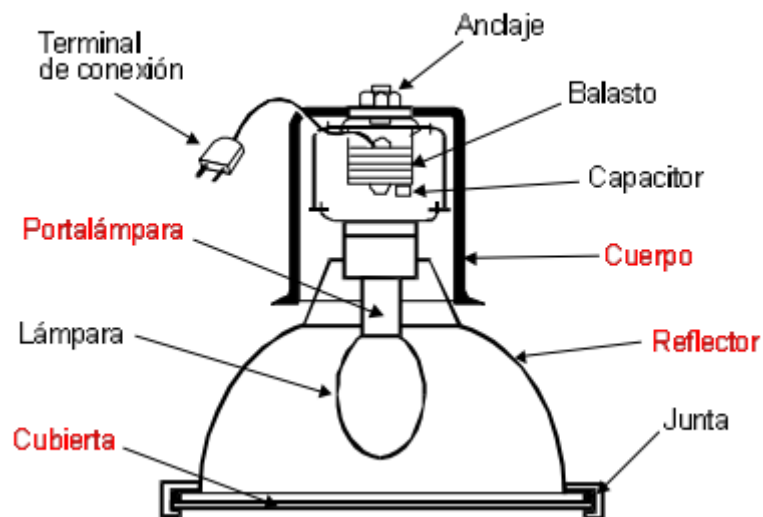


Figura 64 Componentes luminaria

A la hora de diseñar y fabricar los componentes de una luminaria es imprescindible escoger materiales de buena calidad que sean capaces de soportar las altas temperaturas que alcanza la luminaria. Por ello los materiales más utilizados son:

- Vidrios para cubiertas o lentes.
- Acero para realizar cuerpos y piezas en chapa.
- Plásticos para moldear, extruir, inyectar... para realizar piezas con formas complicadas.
- Aluminio en forma de chapa, perfiles, o piezas moldeadas.

Existen varios acabados de los materiales que dependen de la función del componente.

Los principales acabados para el acero y el aluminio son:

- Anodizado: Recubrimiento químico con una capa de óxido depositada en la superficie, aumenta la reflexión especular y la conductividad de la pieza.
- Abrillantado: Consiste en la creación de una capa de óxido con la incorporación de compuestos brillantes, se usa para aumentar la reflexión especular.
- Pulido: Es un acabado superficial mecánico usado para incrementar la reflexión especular.
- Granallado: Se usa para eliminar los defectos producidos por el moldeo de piezas de inyección.
- Gofrado: Es un acabado mecánico que dota a la superficie, generalmente de aluminio, de rugosidad. Según éste proceso el aluminio adquiere buen aislamiento térmico y acústico.

Acabados con adición de material:

- Plateado: Consiste en recubrir con una capa de metal o aleación, para alcanzar una apariencia similar a la de la plata.
- Cromado: Consiste en la deposición de cromo mediante galvanoplastia, ya sea para dar dureza superficial, decorativo, o proteger de la corrosión.
- Niquelado: Se usa generalmente para mejorar la resistencia a corrosión, consiste en recubrir la pieza con una capa de níquel.
- Dorado: Proceso parecido al plateado pero con una apariencia similar al oro.

Pintado:

- Orgánico: usados en luminarias de interior.
- Cerámico: debido a sus altas prestaciones como resistencia y longevidad son utilizadas en luminarias donde los agentes externos son más dañinos.

### **3.4.1.3 Componentes eléctricos y electrónicos**

Todas las luminarias precisan de una fuente de luz para su funcionamiento, pero dependiendo del tipo de tecnología que se use, montará, o no, uno u otro tipo de equipo eléctrico y configuración eléctrica específica [9].

En función del tipo de fuente de luz que posea la luminaria se pueden encontrar:

- Sin equipo eléctrico: A este grupo pertenecen las luminarias de incandescencia, halógenas o híbridas de las dos. Se pueden conectar directamente a la red, ya que no son susceptibles a los cambios de tensión o intensidad. Éstas son resistencias eléctricas que se iluminan al paso de electricidad, por lo que la intensidad es proporcional a la tensión que las atraviesa.
- Con equipo eléctrico: En este grupo se encuentran las luminarias con tecnología de descarga y LED. Éstas precisan de un equipo eléctrico que regule la intensidad, de forma que en el arranque de las lámparas las variaciones de intensidad causadas por la impedancia de la lámpara se mantenga constante, para evitar que se dañe a la misma y se reduzca su vida útil.

Equipos de lámparas de descarga: Son componentes eléctricos que proporcionan una corriente de arranque o precalentamiento de los cátodos y suministran una tensión de salida en vacío necesaria para saltar el arco en la lámpara. A este tipo de equipos se les denomina balastros o reactancias.

Una vez encendida la luminaria, limita la corriente a un rango de valores adecuados para que la lámpara funcione correctamente, además controla las variaciones de corriente en la lámpara frente a las fluctuaciones de tensión.

- Equipos para lámparas fluorescentes: Son equipos con corriente limitada, ya que las lámparas fluorescentes poseen resistencia negativa y pueden alcanzar valores de corriente muy elevados con características de corriente positiva que dañen la lámpara.

Existen varios tipos de balastos dependiendo del tipo de corriente:

- Balastro resistivo: Se emplea en corriente continua.
  - Balastro inductivo: Se usa en corriente alterna.
  - Balastro electrónico: Se utiliza tanto en corriente continua como alterna.
- 
- Equipos de lámparas de vapor de mercurio de alta presión: No se emplea ningún otro componente a parte del balastro inductivo, que gracias a un condensador compensa el factor de potencia.
  - Equipos de lámparas de halogenuros metálicos: En este tipo de lámparas se usa un balastro regulador de corriente para su correcto funcionamiento, y un cebador o ignitor para calentar los electrodos antes del encendido y facilitar el arranque.
  - Equipos para lámpara de vapor de sodio a baja presión: Estas lámparas necesitan corregir el factor de potencia, para ello se usa; un balastro o reactancia con ignitor separado y con un condensador; o un transformador con ignitor separado, que consiste en un ignitor electrónico y un condensador. Con esta última configuración se establece una potencia constante que alarga la vida de la lámpara.
  - Equipos para lámparas de vapor de sodio a alta presión: Este tipo de lámparas se caracterizan por necesitar tensiones muy altas para el encendido. Por ello utilizan además del balastro un arrancador.  
Dependiendo del circuito eléctrico se encuentran:
    - En serie: El arrancador se encuentra conectado en serie entre el balastro y la lámpara.
    - Semi-paralelo: El arrancador se conecta por medio del balastro a la lámpara.
  - Equipos para lámparas de inducción: Para este tipo de lámparas se precisa de un generador de alta frecuencia formado por un sistema de circuitos electrónicos. Dependiendo de la frecuencia de la corriente que se genere se distinguen dos tipos de lámparas:



- De alta potencia por inducción: La frecuencia ronda los 250KHz ya que es la frecuencia óptima para una alta eficiencia y alta potencia de iluminación.
- De descarga de gas a baja presión: Este equipo genera una frecuencia en torno a 2,6MHz suministrada por un generador eléctrico que se conecta al acoplador de potencia mediante un cable coaxial.

Equipos para tecnología LED: Como se explicó con anterioridad los LEDs funcionan con corriente continua y es necesario polarizarlo directamente. Para ello se necesita de los drivers. Éstos, son unos equipos eléctricos que se encargan de transformar la corriente alterna proveniente de la red en corriente continua, y de suministrar unos valores de intensidad de corriente necesarios para asegurar la vida del LED.

Dependiendo del LED los drivers se clasifican en dos grupos:

- Con alimentación a voltaje constante, normalmente 12V y 24V.
- Con alimentación a corriente constante, con valores de salida estandarizados de: 350mA, 500mA, 750mA, y 1050mA.

Los drivers poseen además un sistema de regulación de control, entre los que destacan:

- Interfaz 0-10V: Es un sistema de control compatible con cualquier controlador que posea un convertidor de salida analógico/digital de 8bits. Existen además en el mercado controladores de 10 y 12bits. Según el tipo de aplicación en el control de los equipos auxiliares, existen varias especificaciones de la interfaz definidas por el Anexo E DE LA IEC60929.
- DMX512: Basa su funcionamiento en una interfaz creada por transceptores, componentes formados por receptores y transistores, de línea diferencial. Gracias a su simplicidad y bajo coste su uso se ha extendido entre las luminarias de entretenimiento.
- DALI: Es el protocolo más empleado por funcionalidad y versatilidad, es sencillo en cuanto a la elección de componentes y montaje. Es un protocolo bidireccional digital que permite el control de las diferentes luminarias enchufando los diferentes drivers al mismo controlador.

### **3.5 Clasificación de las luminarias.**

Existen múltiples formas de clasificar las luminarias atendiendo a diferentes factores. A continuación se muestran algunas de éstas maneras de agruparlas.

### 3.5.1 Clasificación según las condiciones operativas.

En función del medio al que se sometan las luminarias, se pueden agrupar atendiendo a dos códigos de protección: IP e IK.

- **Código IP:** Esta medida clasifica las luminarias en función del grado de protección que tengan las mismas contra la admisión de partículas de polvo y humedad en los componentes que posean energía.

La protección IP se muestra con las siglas IP continuado por dos números, de los cuales el primero indica el nivel de protección ante la admisión de partículas de polvo o similares y el segundo determina el grado de estanqueidad que posee la luminaria ante el ingreso de agua, es decir en nivel de estanqueidad.

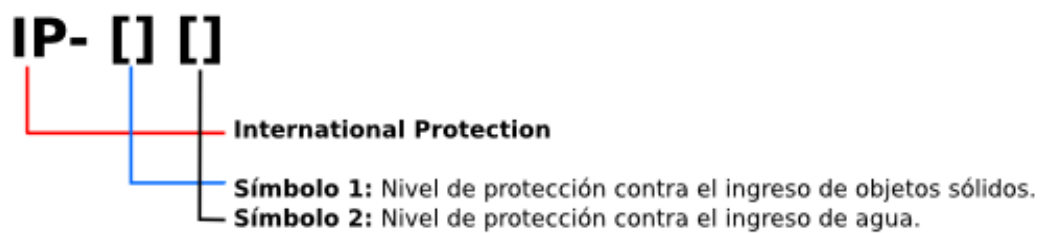


Figura 65 Grado de protección IP a fin a la normativa EN-60598

En Francia existe un tercer número que determina la resistencia a impactos.  
A continuación se muestran varias tablas con los tipos de protecciones IP.

PRIMERA CIFRA		
Nº	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
0	Sin protección particular	--
1	Protección objetos < 50mm	--
2	Protección objetos < 12,5mm	--
3	Protección objetos < 2,5mm	--
4	Protección objetos < 1mm	--
5	Protección contra el polvo	
6	Estanqueidad ante el polvo	

Tabla 7 Grado de protección contra el polvo según normativa EN-60598





SEGUNDA CIFRA		
Nº	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
0	Sin protección particular	--
1	Protección contra gotas de agua en caída vertical	
2	Protección contra gotas de agua con inclinación 15 grados	--
3	Protegida contra agua pulverizada	
4	Protegida contra proyecciones de agua	
5	Protegida contra chorros de agua	
6	Protegida contra fuertes chorros de agua o la mar gruesa	--
7	Protegida contra los efectos de la inmersión	
8	Protegida contra la inmersión prolongada	

Tabla 8 Grado de protección contra el agua según normativa EN-60598

TERCERA CIFRA (USO EXCLUSIVO FRANCIA)		
Nº	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
0	Sin protección particular	--
1	Protección contra un impacto de 0,225J de energía	--
3	Protección contra un impacto de 0,5J de energía	--
5	Protección contra un impacto de 2J de energía	--
7	Protección contra un impacto de 6J de energía	--
9	Protección contra un impacto de 20J de energía	--

Tabla 9 Grado de protección contra impactos según normativa UN-60598

- **Código IK:** Este sistema se usa para determinar el grado de protección que proporciona el envoltorio de materiales eléctricos ante los impactos externos.  
Este sistema se usa para sustituir el tercer número del código IP utilizado en Francia.



PROTECCIÓN IK											
Nº	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía Impactos	0	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

Tabla 10 Grado de protección IK y energía absorbida EN-50102

### 3.5.2 Clasificación atendiendo a la protección eléctrica.

La protección eléctrica se define como el nivel de aislamiento y el grado de seguridad ante la electrocución de las personas por contacto con los elementos eléctricos. En función de dicha medida las luminarias se pueden clasificar en:

- Clase 0: A este grupo pertenecen las luminarias que no poseen toma de tierra, están dotadas de un aislamiento funcional, lo que garantiza su buen funcionamiento ante los choques eléctricos, pero carecen de aislamiento doble.
- Clase 1: Luminaria con conexión a toma de tierra y con aislamiento funcional que garantiza el correcto funcionamiento ante choques eléctricos.
- Clase 2: Luminaria sin toma de tierra debido a que posee un aislamiento funcional doble y/o reforzado en su totalidad, en las zonas donde se puedan producir tensiones peligrosas.
- Clase 3: Grupo al que pertenecen las luminarias que no poseen circuitos internos ni externos y están conectadas y operan a voltajes de muy baja tensión.

Clase	Símbolo
Clase 0	-
Clase 1	
Clase 2	


Clase 3	
---------	--

Tabla 11 Protección eléctrica de la luminaria según normativa EN-60598

### 3.5.3 Clasificación en función de la inflamabilidad de la superficie de montaje.

Esta organización determina la temperatura y la inflamabilidad del material de la superficie donde se instala la luminaria. La norma que rige dichos valores de inflamabilidad es la UNE-EN-60598, y las clasifica en dos tipos:

- Superficie normalmente inflamable: Es aquella superficie la cual debido a los materiales de los que está compuesta, no se puede considerar como inflamable o no combustible. En dichas superficies no se puede montar ni instalar luminarias empotradas o semiempotradas, si no que se deben instalar luminarias suspendidas.
- Superficie fácilmente inflamable: Los materiales de la superficie de este grupo poseen una temperatura de ignición de al menos 200°C. Estos materiales no sufren deformaciones cuando están sometidos a dicha temperatura.


Ordenación	Símbolo
Luminarias aptas para el montaje directo únicamente sobre superficies no combustibles.	No requiere de símbolo, sólo precisa de una nota de advertencia.
Luminarias adecuadas para instalarlas sobre superficies normalmente inflamables.	

Tabla 12 Luminarias en función del grado de inflamabilidad de la superficie de montaje

### 3.5.4 Clasificación de las luminarias en función del lugar de funcionamiento.

Atendiendo a su lugar de instalación se pueden agrupar en: luminarias para interiores, luminarias para iluminación vías y luminarias de proyección. A continuación se explican detalladamente los tres tipos.

- Luminarias para interiores: Se entiende por luminarias de interiores a aquellas que se crearon con la intención de emplearlas en una instalación con el fin de iluminar un recinto ya sea un centro comercial, una tienda una instalación deportiva, un cine... Su fin último es dotar de iluminación aquellos lugares donde se desee modificar las características lumínicas destinadas para realizar actividades tanto laborales como de ocio [3].

Según el porcentaje de flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal de la fuente de luz, las luminarias de interiores se pueden clasificar en:

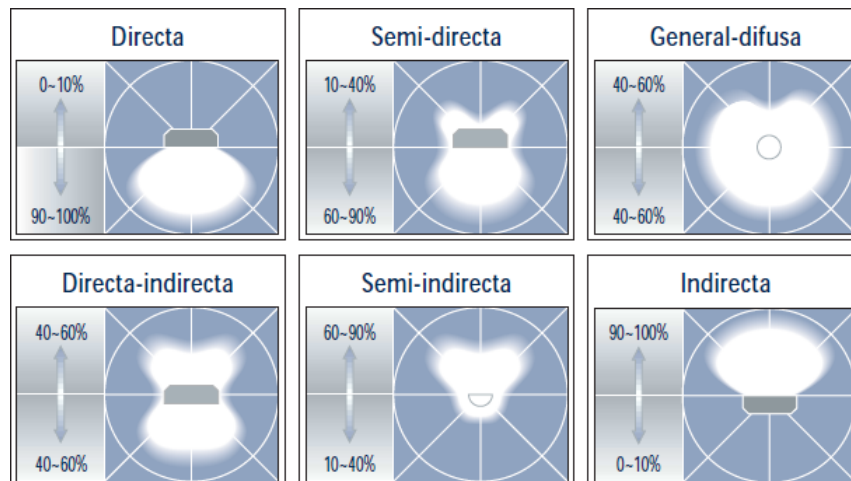


Figura 66 Clasificación de las luminarias de interior en función del porcentaje de flujo luminoso

En función de si el flujo emitido es simétrico o no, las luminarias de interiores se pueden clasificar en:

- Distribución simétrica: A este tipo pertenecen las luminarias cuyo flujo luminoso se reparte por igual respecto al eje de simetría de la luminaria. Por este motivo, la representación fotométrica se puede dibujar en una única curva.
- Distribución asimétrica: En este caso el flujo luminoso emitido por la luminaria no es simétrico respecto al eje de la luminaria, por esta razón la representación fotométrica se realiza por medio de una curva en función de varios planos.

Para poder clasificar y escoger correctamente la luminaria más adecuada para cada caso, es preciso entender cómo se representan las curvas de distribución polar. Estas curvas se suelen representar en un sistema de coordenadas C- $\gamma$ . Como hay infinidad de planos, se suelen escoger tres representativos, que son:

- El plano  $C = 0^\circ$
- El plano  $C = 45^\circ$
- El plano  $C = 90^\circ$

Las curvas se expresan en cd por 1.000 lúmenes de flujo emitido por lámpara, y sus unidades son los cd/Klm.

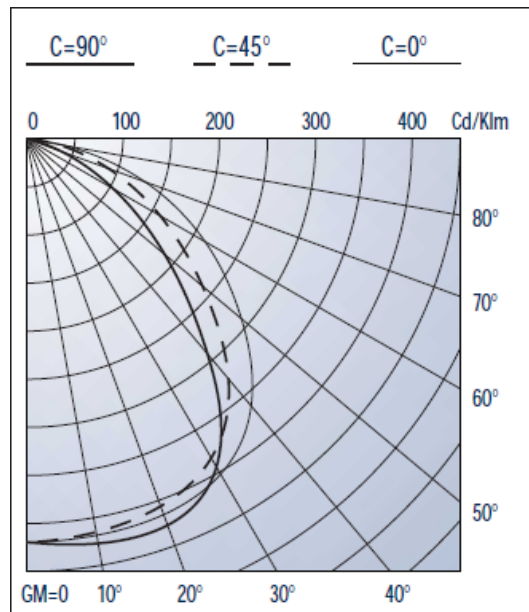


Figura 67 Diagrama polar en el sistema C-γ

Otra manera de definir las características de una la luminaria de interior es mediante el diagrama de flujo zonal. Éste consiste en medir el porcentaje de flujo luminoso que se emite en cada ángulo. En función de cómo se distribuya el flujo de luz se puede distinguir dos tipos de luminarias:

- Luminarias tipo Flood: El tanto por ciento del flujo aumenta progresivamente según aumenta el ángulo, el diagrama de esta luminaria representa una curva con una pendiente suave, es decir, que el flujo de luz se atenúa a medida que va aumentando el ángulo.
- Luminaria tipo Spot: La mayor parte del flujo luminoso se encuentra en ángulos pequeños, mientras que en ángulos grandes el porcentaje es muy reducido. Esta curva posee una gran pendiente en los primeros ángulos y prácticamente paralela al eje de accisas, es decir, que el flujo luminoso se encuentra localizado en una zona diferenciable a simple vista.

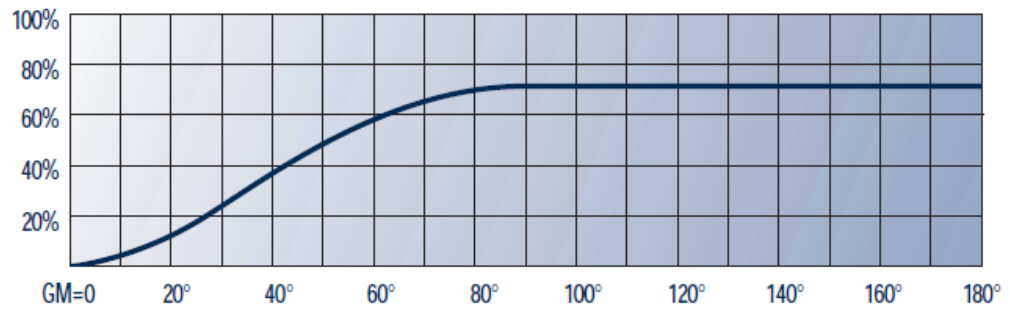


Figura 68 Diagrama de flujo zonal

- Luminarias para instalaciones públicas: En este grupo se encuentran todas aquellas luminarias empleadas para la iluminación de parques, jardines, zonas residenciales, autopistas, túneles...[10].

En la actualidad se diferencian dos tipos; Las llamadas para instalaciones típicas como pueden ser los parques y jardines y las vías urbanas, túneles autopistas... Las que requieren de una instalación específica.

Existen para este segundo grupo un sistema de clasificación introducido recientemente por la C.I.E, en sustitución del sistema de 1965. Este sistema agrupaba las luminarias en cut-off, semi-cut-off y non-cut-off, el cual las clasifica atendiendo a los siguientes parámetros lumínicos.

Tipo de luminaria	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Dirección de la intensidad máxima menor de
Cut – off	30cd/1000lm	10 cd/1000lm	65°
semi cut – off	100 cd/1000lm	50 cd/1000lm	76°
non – cut – off	Cualquiera	--	--

Tabla 13 Luminarias para instalaciones públicas en función de los parámetros luminosos.

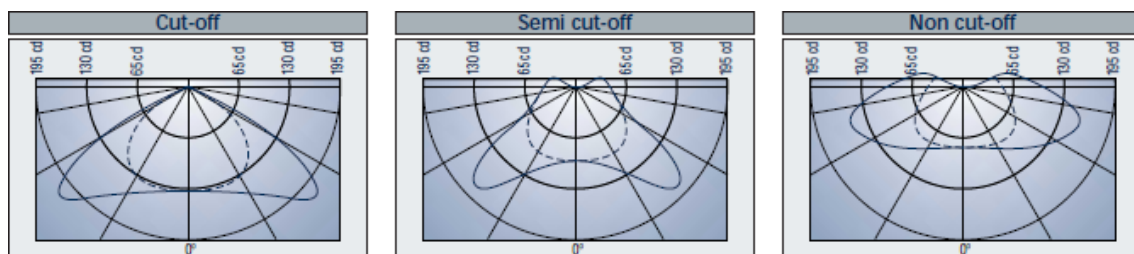


Figura 69 Distintas distribuciones de intensidad luminosa atendiendo al sistema de clasificación CIE de 1965



La C.I.E. basa la nueva clasificación de las luminarias en tres propiedades básicas:

- El alcance de la luminaria, es decir, la extensión a la cual la luz se distribuye a lo largo de un camino.
- La apertura, es decir, la cantidad de dispersión de luz lateral a lo ancho de un camino.
- El control, es decir, el grado de control de deslumbramiento producido por la luminaria.

El alcance lo define el ángulo  $\gamma_{\max}$  que forma el eje del haz de luz con la vertical. A su vez el eje de haz está determinado por la dirección de la bisectriz del ángulo de las dos direcciones con el 90% de intensidad máxima.

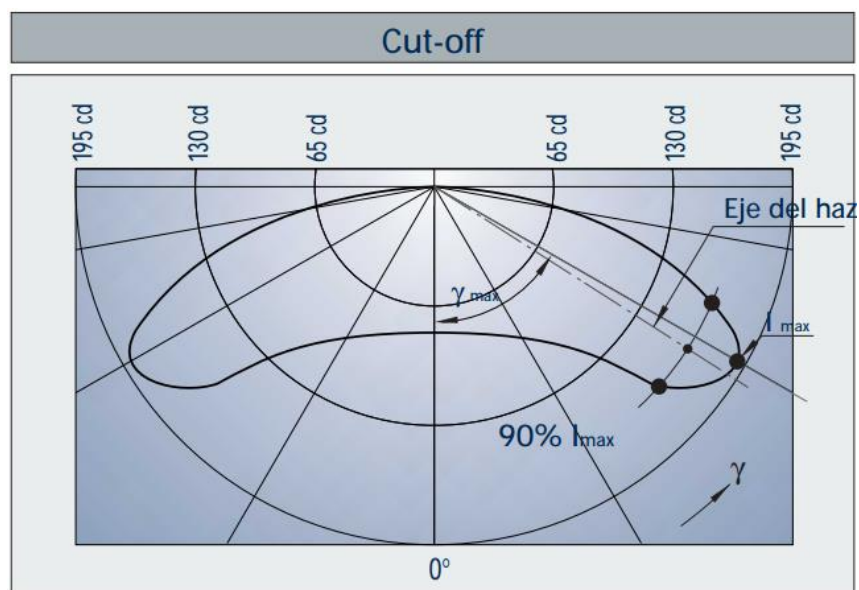


Figura 70 Curva polar de intensidad en el plano de intensidad máxima que muestra el ángulo utilizado para determinar el alcance

- La apertura la define la línea paralela al eje del camino que prácticamente no toca la zona más alejada de 90% de la intensidad máxima en el camino. El punto de la línea se define con el ángulo  $\gamma_{90}$ .

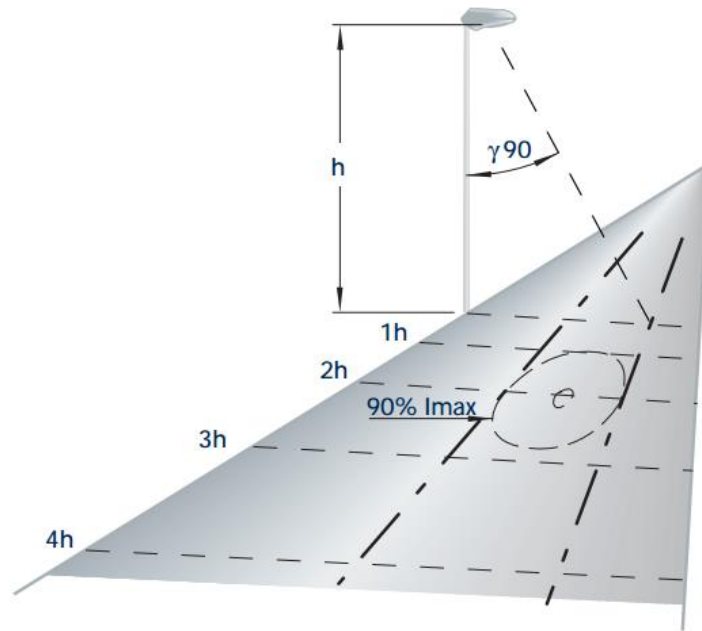


Figura 71 Apertura

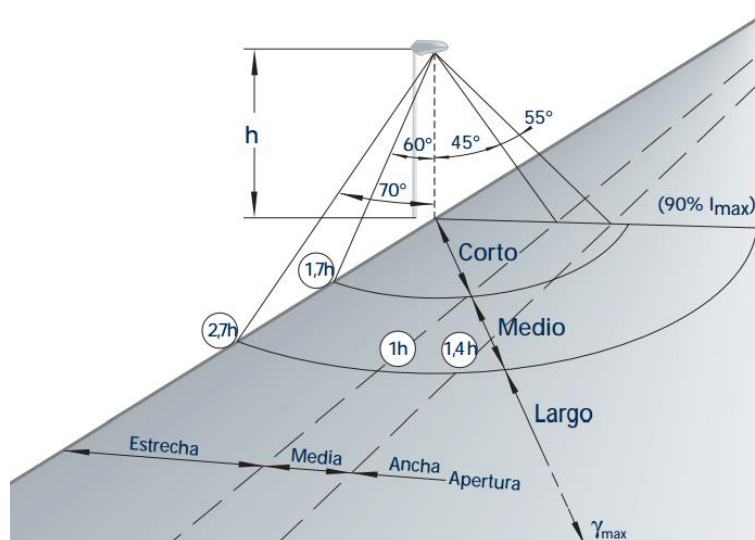


Figura 72 Grados de alcance y apertura definidos por la CIE

- El control está definido por el índice específico de la luminaria, SLI. Los factores de los que depende son: De la intensidad luminosa a un ángulo de  $80^\circ$  en un

plano paralelo al eje del camino, de la relación entre intensidades luminosas para  $80^\circ$  y  $88^\circ$ , de la superficie emisora de luz de las luminarias proyectada en la dirección de elevación de  $76^\circ$  y del factor de color.

Se distinguen tres grados de índice específico de la luminaria en función del valor: estricto, moderado y limitado.

- Luminarias para iluminación por proyección: Los proyectores son luminarias que concentran la luz en un grado sólido, definido por un sistema óptico, por el cual se alcanza una intensidad de luz alta.

Los proyectores se pueden agrupar en función del ángulo de apertura de la luz. Dicha apertura se define como el ángulo del plano que contiene el eje de luz, en el cual la intensidad luminosa disminuye hasta un valor establecido (50% o 10%) de su valor pico.

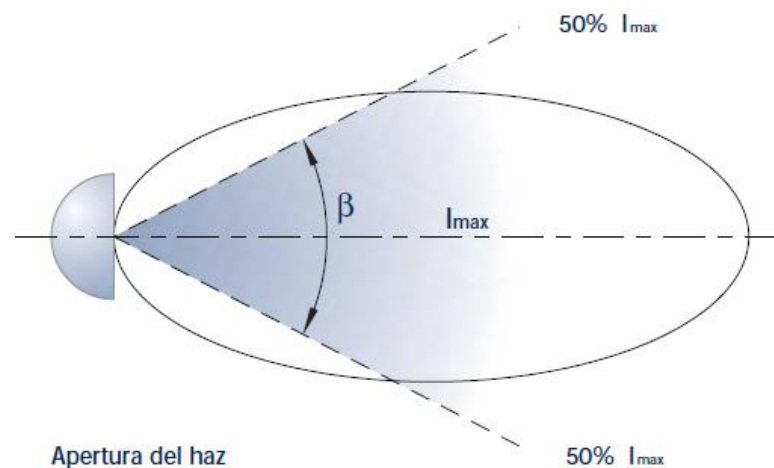


Figura 73 Haz de luz de una luminaria de iluminación por proyección

Dependiendo del ángulo de apertura se clasifican en tres grupos:

Tipo	Apertura del haz (al 50% $I_{m\acute{a}x}$ )
Haz estrecho	$< 20^\circ$
Haz medio	$[20^\circ, 40^\circ]$
Haz ancho	$> 40^\circ$

Tabla 14 Clasificación de la apertura del haz

Este tipo de luminarias están destinadas a instalaciones deportivas cubiertas, fachadas, áreas de vigilancia, de trabajo... por lo que el montaje y mantenimiento se realiza en alturas importantes, por este motivo se tiene que tener en cuenta la importancia de diseñar una luminaria que sea ergonómica y facilite el cambio de lámparas .

### 3.5.5 Tipos de luminarias para uso comercial, residencial y de oficinas.

Dependiendo de la forma de enfocar la luz se distinguen diferentes tipos de luminarias para iluminación de interiores y exteriores

- Luminarias de tipo downlight, uplight o up-downlight.
- Luminarias para iluminación localizada.
- Luminarias de celosía.
- Luminarias tipo bañador.
- Luminarias con reflector secundario.

#### 3.5.5.1 Luminarias de tipo downlight, uplight o up-downlight.

La función de estas luminarias es la de iluminar con un haz de luz el suelo o el techo.

Las luminarias de tipo downlight se instalan en el techo, ya sea suspendida o empotrada, aunque se pueden instalar en la pared en el caso de iluminar pasillos o exteriores. Los bañadores de pared además de proyectar el haz de luz hacia abajo también iluminan superficies verticales. Los proyectores downligh se utilizan para iluminar zonas concretas y objetos gracias a que dirigen el cono luminoso para adaptarse a distintas funciones de iluminación.



Figura 74 Luminaria Downlight de empotrar. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

Las luminarias uplight se utilizan para iluminación de techos. Iluminan indirectamente zonas gracias a la luz reflejada en el techo. También se usan para iluminar superficies verticales mediante la reflexión de la luz. Este tipo de luminarias se pueden instalar en el suelo o en la pared.



Figura 75 Luminaria uplight de empotrar en el suelo. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

Como resultado de combinar las luminarias tipo downlight y uplight surgen las up-downlight. Éstas se caracterizan por proporcionar luz, tanto en el techo como en el suelo y se puede instalar en el suelo o suspendidas del techo.

Estas luminarias suelen emplear lámparas de incandescencia o halógenas, fluorescentes, halogenuros metálicos o placas LED. Poseen un gran control de deslumbramiento, ya que tienen aperturas moderadas y valores bajos de luminancia para ángulos de visión grandes.

#### ***3.5.5.2 Luminarias para iluminación localizada.***

Estas luminarias se usan para iluminar un punto concreto mediante un haz de luz. Pueden estar fijas en el caso de iluminar estanterías o ser móviles para la iluminación de escaparates.

Este tipo de luminarias suele usar lámparas halógenas, de descarga o módulos LED en el caso de las más nuevas. Se usan cuando el grado de iluminación requerido en zonas concretas es mayor, en espacios donde no existe iluminación general o cuando por cuestiones de diseño se busca el modelado, la exposición, la exhibición, acentuado... de los elementos a iluminar. Por ello estas luminarias deben diseñarse teniendo en cuenta que puedan mover y orientar el haz de luz.

Normalmente se usan sólidos de revolución que están definidos por un solo plano. Dependiendo del grado de apertura de los proyectores se pueden encontrar:

- Súper-flood para aperturas mayores de 30°.
- Flood para aperturas entre 30° y 15°.
- Spot para aperturas entre 15° y 7°.
- Súper-spot para aperturas menores de 7°.



Figura 76 Luminarias de iluminación localizada. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

### 3.5.5.3 Luminarias de celosías

Este tipo de luminarias se usa sobre todo para iluminar grandes superficies y están diseñadas para las fuentes de iluminación de fluorescencia o fluorescencia compacta. La celosía es un conjunto de rejillas que se usan para evitar que la lámpara deslumbre en algunos ángulos.

Estas luminarias poseen por lo general una forma rectangular para fluorescencia, en cambio cuando la lámpara es de fluorescencia compacta pueden poseer forma cuadrada o circular.

La distribución luminosa más común es la simétrica axial, con apantallamiento entre 30° y 40°, con diferentes curvas de la distribución de la luz dependiendo de los requisitos de iluminación del lugar donde estén instaladas.



Figura 77 Luminaria de celosía

#### ***3.5.5.4 Luminarias tipo bañador.***

Este tipo de luminarias se emplean para, como su propio nombre indica, bañar de luz una superficie con una distribución de iluminancia y luminancia no de forma uniforme, si no gradual.

Dependiendo de la posición de la superficie que ilumine se distinguen varios tipos: De pared, de techo o de suelo.

Los bañadores de pared pueden ser de superficie y empotrables. Suelen usar lámparas fluorescentes lineales, compactas, halogenuros metálicos, incandescentes, halógenas, placas LED... Por lo general se diseñan con una distribución de iluminancia entre la parte superior e inferior no mayor de 10.

Su instalación suele realizarse alejada de la pared cuando son compactas y empotradas al techo; o más cercana cuando por su tamaño no se pueden empotrar.

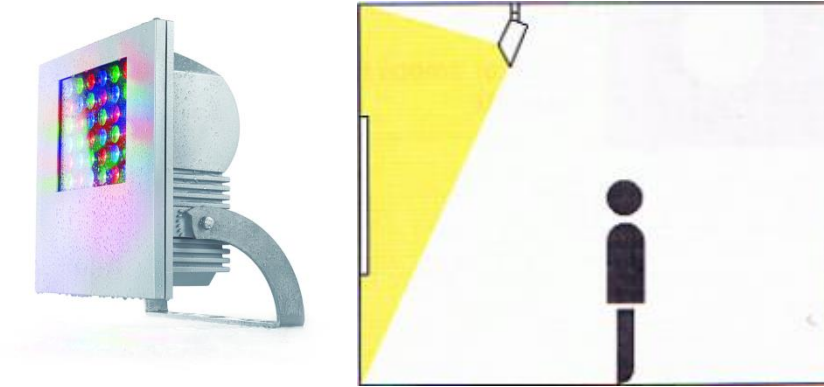


Figura 78 Bañador de pared. (Fuente [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

Los bañadores de suelo se usan para iluminar pasillos y lugares de circulación. Se suelen instalar casi a altura de suelo ya sean empotrados en la pared o en superficies algo por encima de la superficie a iluminar. Suelen usar lámparas halógenas incandescentes y placas LED. Por sus características lumínicas normalmente se utilizan para señalar salidas de emergencia.

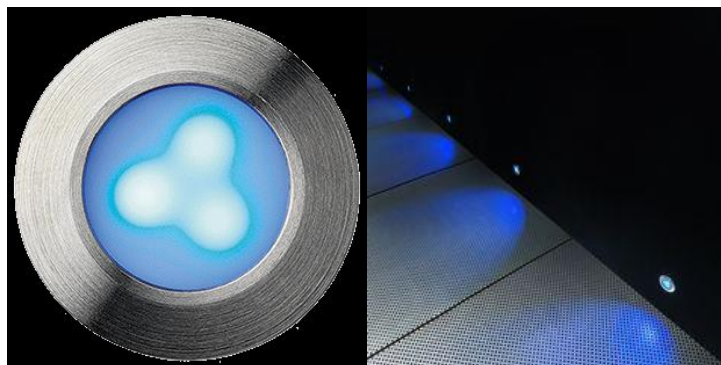


Figura 79 Bañador de suelo. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

Los bañadores de techo se emplean tanto para iluminar techos como para crear una iluminación indirecta general. Por lo general se instalan en las paredes por encima del ángulo de visión o en suspensión. Suelen montar lámparas incandescentes de descarga, halógenas y placas LED.





Figura 80 Bañador de techo. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

#### 3.5.5.5 Luminarias con reflector secundario.

Este tipo de luminaria consigue crear un apantallamiento de tal manera que se alcance el confort visual y por consiguiente una limitación del deslumbramiento directo y por reflexión, en función de la necesidad de la actividad que se realice.

Esto se consigue con un sistema de doble reflector, primario y secundario, el cual sustituye el techo como superficie de reflexión, controlándose así las propiedades de reflexión e iluminación.

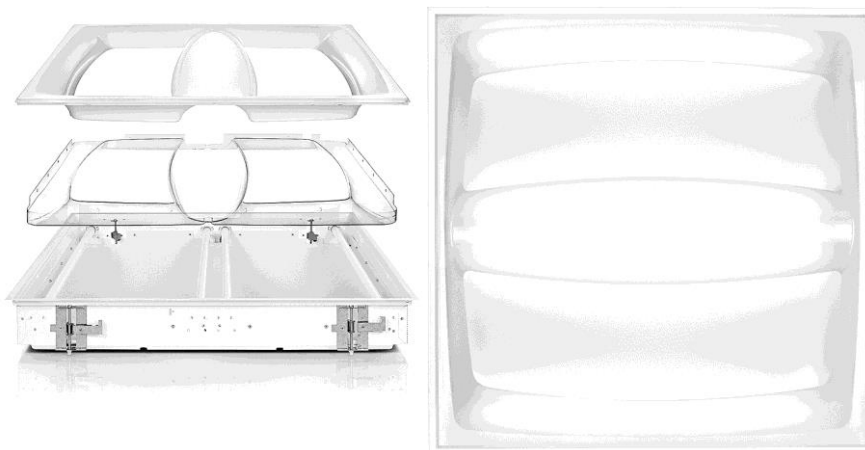


Figura 81 Luminaria con reflector secundario. (Fuente: [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es))

## Capítulo 4. Fase de diseño de la luminaria.

Esta luminaria surge ante la necesidad de crear fuentes de luz cada vez más eficientes con unas dimensiones lo más reducidas posibles. Para solucionar el tema de la eficiencia se utilizaron LEDs, ya que es la fuente más eficiente y reducida de luz que se conoce en la actualidad. En cuanto al tema de las dimensiones se intentó reducir en todo lo posible el espesor de la luminaria, para ello se colocaron los LEDs en el canto de la luminaria, al contrario que cualquier otra, que ubica los LEDs de forma perpendicular al haz de luz. Una vez solucionado el tema del espesor había que conseguir la manera de proyectar la luz hacia el entorno, para ello se guió y repartió de forma uniforme desde el LED hacia una superficie lisa que la proyectase perpendicularmente iluminando el espacio de forma regular. Para esta tarea se empleó una plancha de metacrilato serigrafiado con una serigrafía determinada que se encarga de repartir dichos haces de luz de forma uniforme a lo largo de la superficie.

En este capítulo se explican los pasos que hay que seguir para crear una luminaria, la luminaria a diseñar y los diferentes componentes necesarios para su funcionamiento, así como el porqué de la elección de los materiales de los mismos.

### 4.1 Proceso de diseño y fabricación.

En el proceso de diseño de un producto se pueden diferenciar varias fases constituidas por una serie de actividades, las cuales permiten el control y verificación del diseño y el seguimiento del proceso de fabricación de manera que se cerciora que se cumplen los requisitos especificados.

Se pueden diferenciar las siguientes fases:

- Fase 0: Generación y Filtrado de Propuestas.
- Fase I: Estudio de Viabilidad.
- Fase II: Diseño Gráfico.
- Fase III: Desarrollo.
- Fase IV: Realización y Validación del Prototipo.
- Fase V: Preparación para fabricación en serie y costes.
- Fase VI: Realización de Pre-serie.
- Fase VII: Finalización del proyecto.

#### 4.1.1 Fase 0: Generación y Filtrado de Propuestas

En esta fase se compila información a partir de la cual se estructurará el diseño y el desarrollo del producto. La información se recopila de un estudio de mercado y de las

exigencias del cliente, por parte externa, y a partir de las aportaciones del personal de la empresa.

Una vez recogida toda la información, el departamento de I+D selecciona y analiza las propuestas en función de la disponibilidad de recursos y la dificultad de industrializarlo.

#### **4.1.2 Fase I: Estudio de Viabilidad.**

Partiendo de las propuestas de la fase 0 se especifican las características iniciales del producto y se realiza un plan de proyecto en el cual se consideran los plazos de tiempo, los recursos y las inversiones necesarias.

Se obtiene así, si es viable realizar el proyecto o no.

#### **4.1.3 Fase II: Diseño Gráfico.**

En esta fase se realizan varios diseños gráficos de acuerdo a las especificaciones de la fase anterior, de los cuales se elige el que cumpla mejor las exigencias de la fase I. En el caso de que no se satisfagan dichas especificaciones se repetirá la fase de diseño hasta que se consiga uno que las cumpla.

#### **4.1.4 Fase III: Desarrollo.**

Partiendo de la fase anterior las actividades a realizar son:

- Realización de los componentes de la luminaria.
- Planificar el prototipo.
- Estudio de coste y precio del producto.

#### **4.1.5 Fase IV: Realización y Validación del Prototipo.**

Esta fase tiene como finalidad realizar un prototipo físico de acuerdo a la documentación aportada por la fase III. Una vez realizado el prototipo se analizan varios aspectos:

Elección del método de fabricación de las piezas.

Repetir la fabricación del prototipo para la posible fabricación en serie.

Validar, basándose en el prototipo, el cumplimiento de las especificaciones de la fase I y de la normativa de seguridad en luminarias (EN 60598). En el caso de no superar alguno de estos aspectos se deberá repetir esta fase hasta su cumplimiento.

#### **4.1.6 Fase V: Preparación para fabricación en serie y costes.**

En esta fase se crea la documentación necesaria para fabricar el producto. Para ello se realizan las siguientes actividades:

- Realizar la documentación definitiva del producto, planos tanto de las piezas como del conjunto.
- Explicación de los métodos de fabricación y de la maquinaria necesaria para realizar el producto en serie.
- Creación de la documentación técnica del producto para la elaboración de fichas técnicas y de características.

#### **4.1.7 Fase VI: Realización de Pre-serie.**

En esta fase se fabrica una pre-serie en las que el departamento de I+D debe optimizar el proceso de fabricación en serie y modificar el producto si el proceso lo precisa.

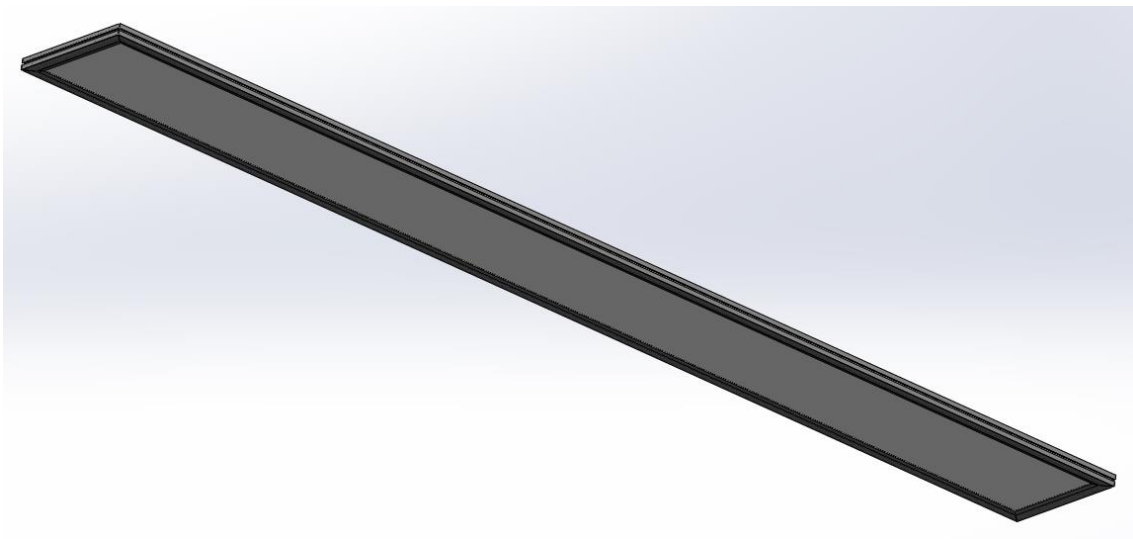
Con ello se persigue simplificar el proceso de fabricación y abaratar el coste del mismo.

#### **4.1.8 Fase VII: Finalización del proyecto.**

En la última fase se facilita toda la información generada del producto a todos los departamentos que requieran de ella. El departamento de I+D proporciona: Planos de piezas y conjunto, estructura de materiales, órdenes de trabajo del proceso de fabricación, códigos de compra...

### **4.2 La luminaria.**

Tras haberse realizado varios diseños y variaciones en el mismo se llega a un modelo que cumple con las exigencias especificadas por la fase I de la fabricación, tanto de eficiencia como de dimensiones.



**Figura 82 Prototipo de la luminaria de 1230mm x 148mm**

Como se puede apreciar en la figura, la parte visible de la luminaria se compone únicamente de un perfil de aluminio, que une los diferentes componentes y un difusor para evitar el deslumbramiento.

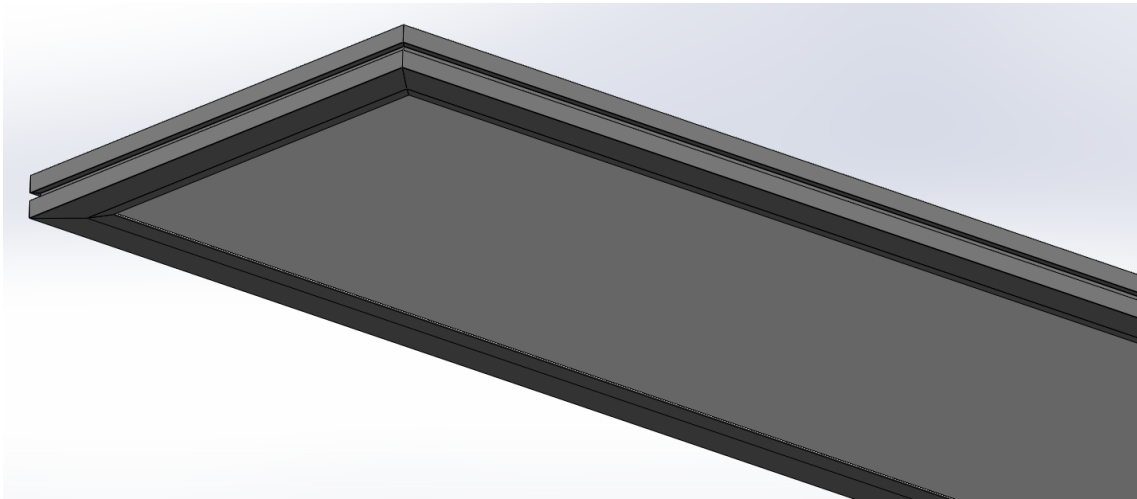


Figura 83 Vista del prototipo de la luminaria de 1230mm x 148mm

Otra característica a destacar de esta luminaria es la gran superficie emisora de luz en relación con la no emisora. Además sus dimensiones pueden variarse tanto en largo como ancho, en función de las exigencias del cliente, hasta un ancho máximo determinado por la óptica del metacrilato.

#### **4.3 Componentes de la luminaria.**

Esta luminaria posee una estructura sencilla y una serie de elementos comunes para las diferentes dimensiones de la misma. Está compuesta principalmente de componentes ópticos, y de un perfil que los mantiene unidos y que la da rigidez.

A continuación y con ayuda de la siguiente figura se explican los diferentes componentes de la luminaria así como su función.

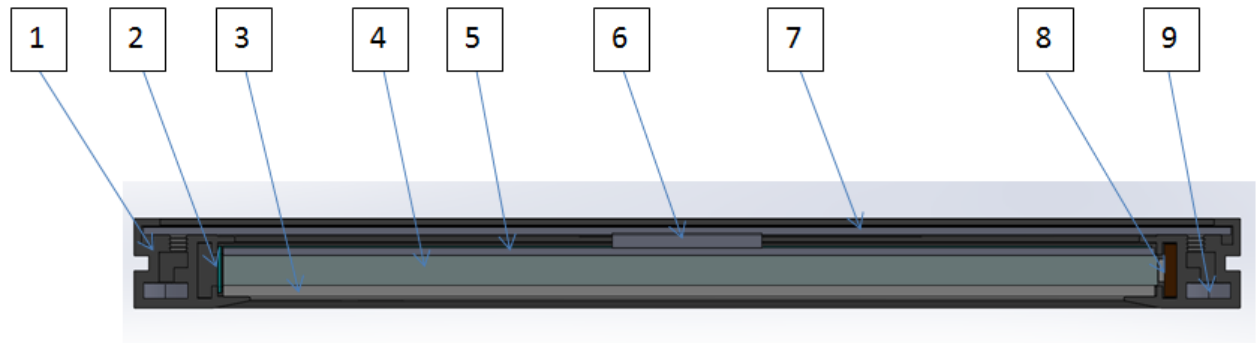


Figura 84 Sección transversal de la luminaria

1. Perfil de aluminio, encargado entre otras cosas de dar rigidez y mantener unidas las partes de la luminaria.
2. Tira de aluminio especular, encargada de reflejar los haces de luz que no han salido proyectados por el metacrilato serigrafiado.
3. Difusor, encargado de evitar deslumbramientos, controlar la dirección de los haces emitidos y unificar la superficie emisora de luz.
4. Metacrilato serigrafiado, encargado de reflejar y refractar los haces provenientes del LED de tal manera que se emitan de manera uniforme a la luminaria.
5. Ultrablanco, debido a su alto porcentaje de reflexión se encarga de evitar y reflejar los haces de luz que rebotan sobre las zonas sin serigrafiar de la cara serigrafiada del metacrilato.
6. Tira adhesiva de espuma, por causas de diseño del perfil, surge un espacio entre el ultrablanco y la chapa trasera en el que es necesario introducir un material que rellene ese hueco y que ayude a mantener el ultrablanco y el metacrilato en contacto. Con esta tira adhesiva se mantienen posicionados los diferentes componentes.
7. Chapa trasera de aluminio, encargada de cerrar la luminaria y de dar rigidez a la misma.
8. Placa LED, fuente de luz de reducidas dimensiones
9. Escuadras dentadas de acero, encargadas de unir las diferentes partes del perfil y de mantenerlas unidas.

A continuación se explican los diferentes componentes de manera detallada, el porqué de su forma y el material del que están compuestos.

#### 4.3.1 Componentes ópticos.

En este grupo se encuentran todos aquellos componentes encargados de guiar la luz hasta que sale de la luminaria.

Una de las novedades de esta luminaria con respecto a las demás es el guiado óptico que realiza el metacrilato serigrafiado. Por ello se hará hincapié en explicar el mismo.

Se Pueden diferenciar:

#### 4.3.1.1 *Metacrilato serigrafiado.*

Este componente es la principal novedad en la luminaria. Su función es guiar los haces de luz que salen de los LEDs y por medio de la reflexión y refracción, tanto en las caras lisas como la serigrafiada, proyectar los haces hasta que salgan del metacrilato y del difusor.

A continuación se explica el funcionamiento del metacrilato.

Está compuesto por PMMA de alta transparencia a través del cual se propagan los haces de luz como se muestra en la siguiente figura.

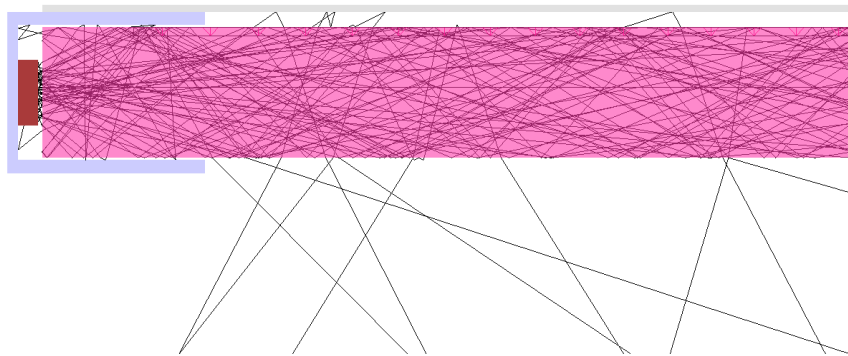


Figura 85 Refracción y reflexión en el metacrilato

Como muestra la figura 86 no todos los haces de luz que salen del LED entran directamente al PMMA. Si no que a partir de un cierto ángulo salen reflejados en la otra dirección.

A continuación se calcula el ángulo máximo de refracción, a partir del cual los haces de luz del LED empiezan a reflejarse en el canto del metacrilato.

De acuerdo con la Ley de Snell (figura 43):

$$n_1 * \cos \theta_1 = n_2 * \cos \theta_2$$

Donde:

- $n_1$  es el índice de refracción del aire, 1.
- $n_2$  es el índice de refracción del PMMA, 1,492.
- $\theta_1$  es el ángulo de incidencia.
- $\theta_2$  es el ángulo de refracción.

Teniendo en cuenta que el ángulo máximo de refracción es  $90^\circ$ , despejando se obtiene que el ángulo máximo a partir del cual se empieza a producir reflexión en el canto del metacrilato es de  $42^\circ$ .

Sabiendo que el LED tiene prelente para controlar la luz y que la divergencia del mismo es de  $120^\circ$ , - es decir que el ángulo de incidencia es hasta de  $60^\circ$ -, antes de entrar la luz al metacrilato ya hay pérdidas de aproximadamente un 90%, ya que parte de los haces de luz que son reflejados, terminan entrando en el metacrilato tras haberse reflejado en la placa LED.

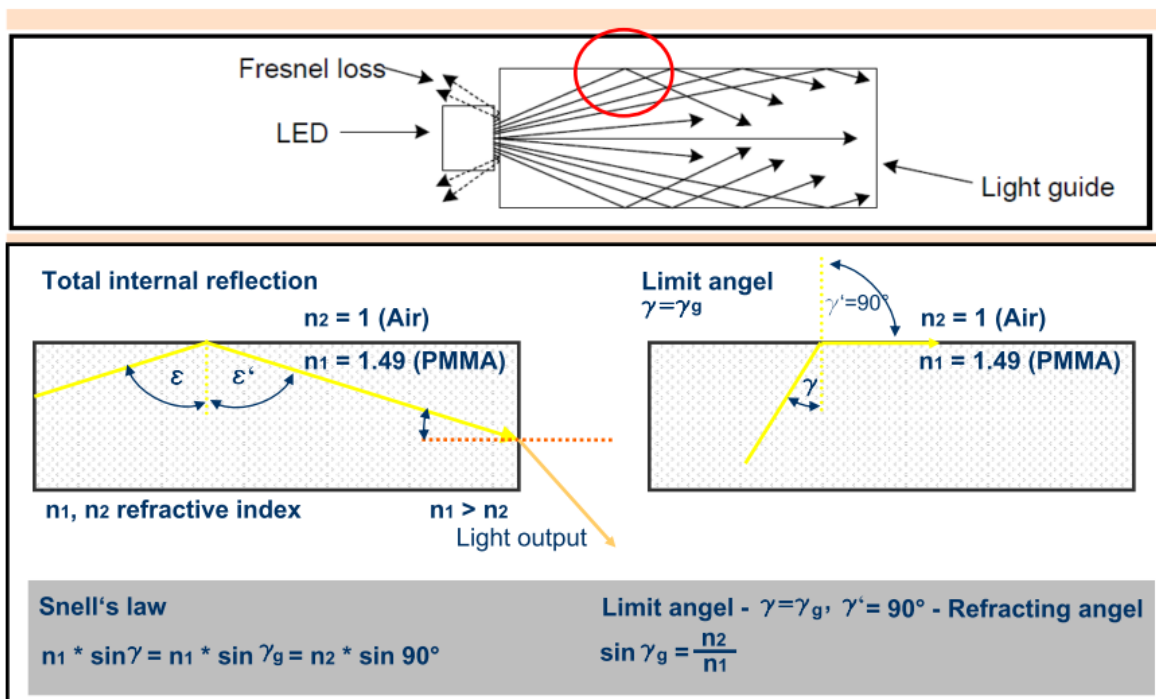


Figura 86 Refracción y reflexión en el interior del metacrilato

Una vez que los haces de luz ya han entrado en el PMMA sucede el mismo efecto que en el caso anterior. Con la diferencia de que se intenta que salgan única y uniformemente por la cara sin serigrafiar del metacrilato, por ello para evitar que los rayos de luz se escapen por los espacios sin serigrafiar de la cara serigrafiada, figura 86, se coloca en la misma una lámina de ultrablanco que los vuelva a reflejar hacia el interior.



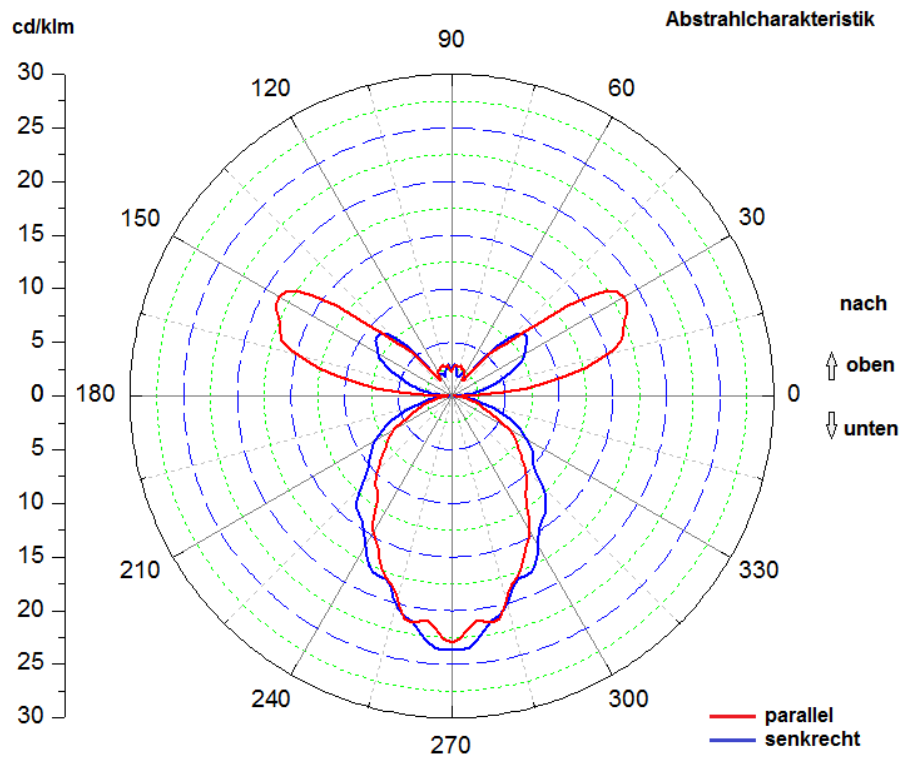


Figura 87 Curvas fotométricas del PMMA

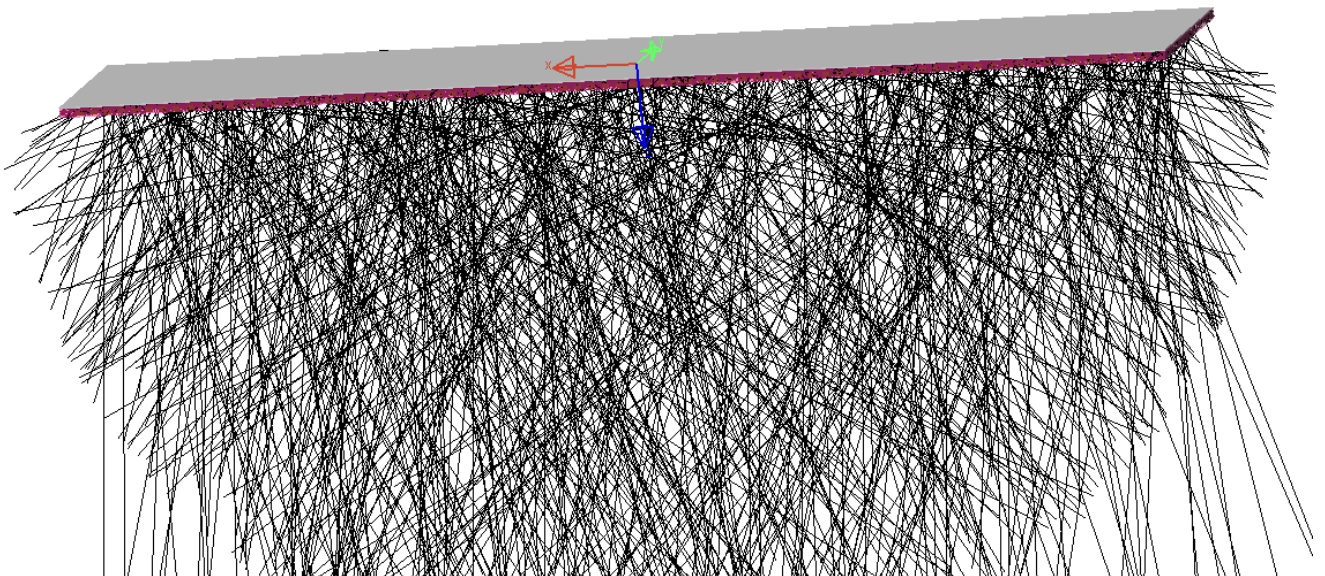


Figura 88 Distribución de los haces de luz de la luminaria

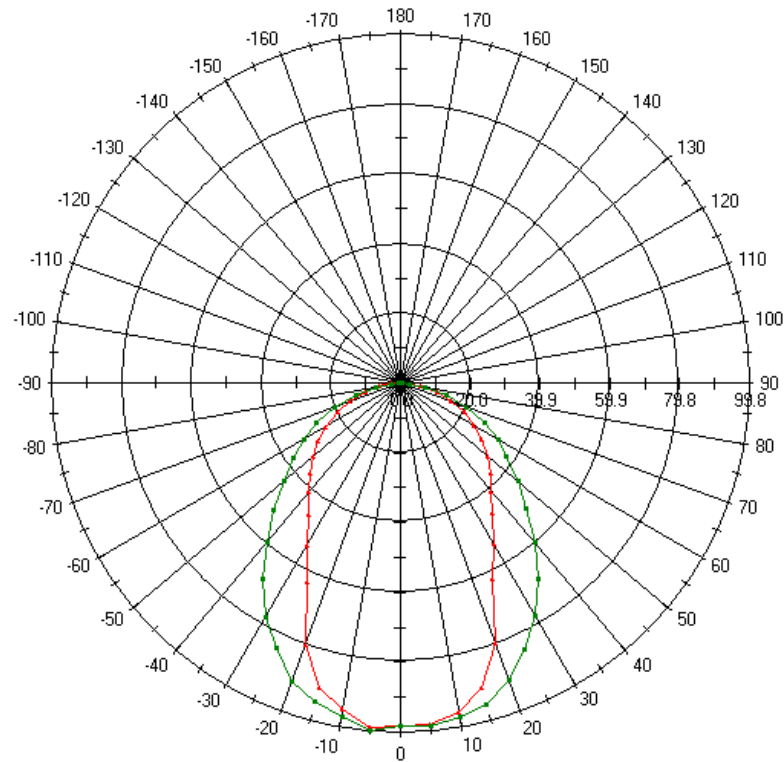


Figura 89 Curvas fotométricas del PMMA con ultrablanco

Como se puede observar en la figura anterior, todos los haces de luz salen por la cara inferior de la luminaria una vez que se ha colocado el ultrablanco.

A continuación se muestra el metacrilato con una serigrafía de puntos con un diámetro variable en función de la distancia a los LEDs, siendo más grandes a medida que se distancian de la placa LED.

Con esto se consigue una salida de la luz uniforme y se evita que deslumbre en la zona cercana a la fuente de luz.

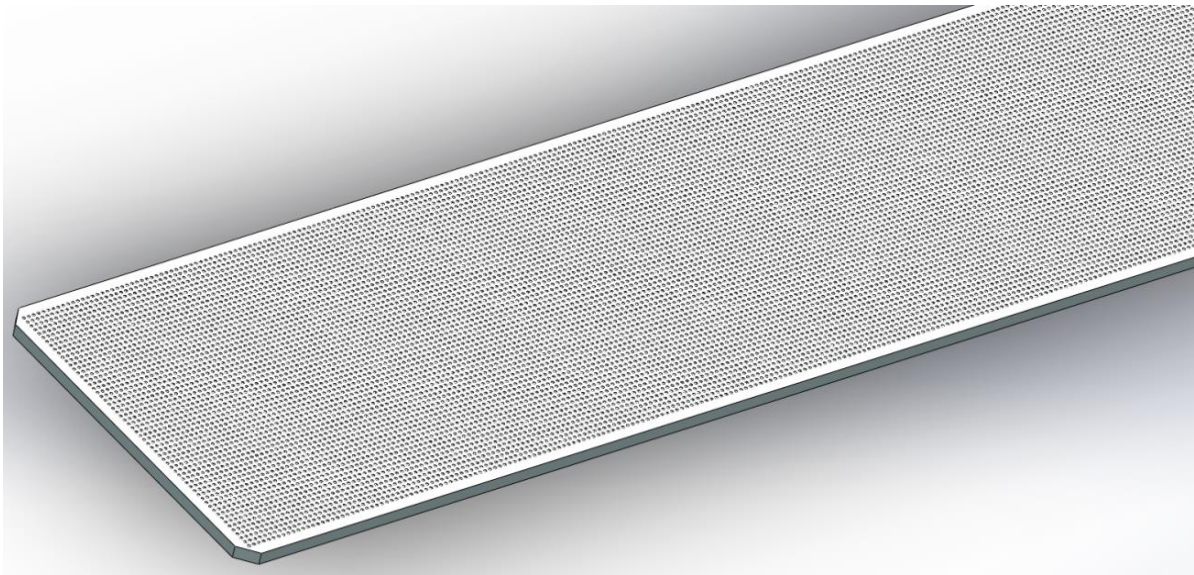


Figura 90 Metacrilato serigrafiado

Teniendo en cuenta las pérdidas en el PMMA a la entrada de luz y en las reflexiones que hace cada haz hasta que sale del metacrilato, la eficiencia del PMMA es de hasta el 85% variando en función de la serigrafía.

#### **4.3.1.2 Difusor.**

Se coloca con el fin de aumentar la superficie de emisión de luz y de controlar la dirección de los rayos de luz. El difusor empleado es uno opal, compuesto por un material opaco que provoca una pérdida de lumínica que mejora la estética de la luminaria. Se consigue además homogeneidad y un apantallamiento para reducir el daño al ojo humano en el caso de mirar directamente a los LEDs. Este componente evita principalmente que se marquen los LEDs en el borde del perfil y que no se vea el serigrafiado del metacrilato.

Debe tener las dimensiones del perfil y encajar perfectamente en el mismo, para evitar que se escape luz por el borde de la luminaria.

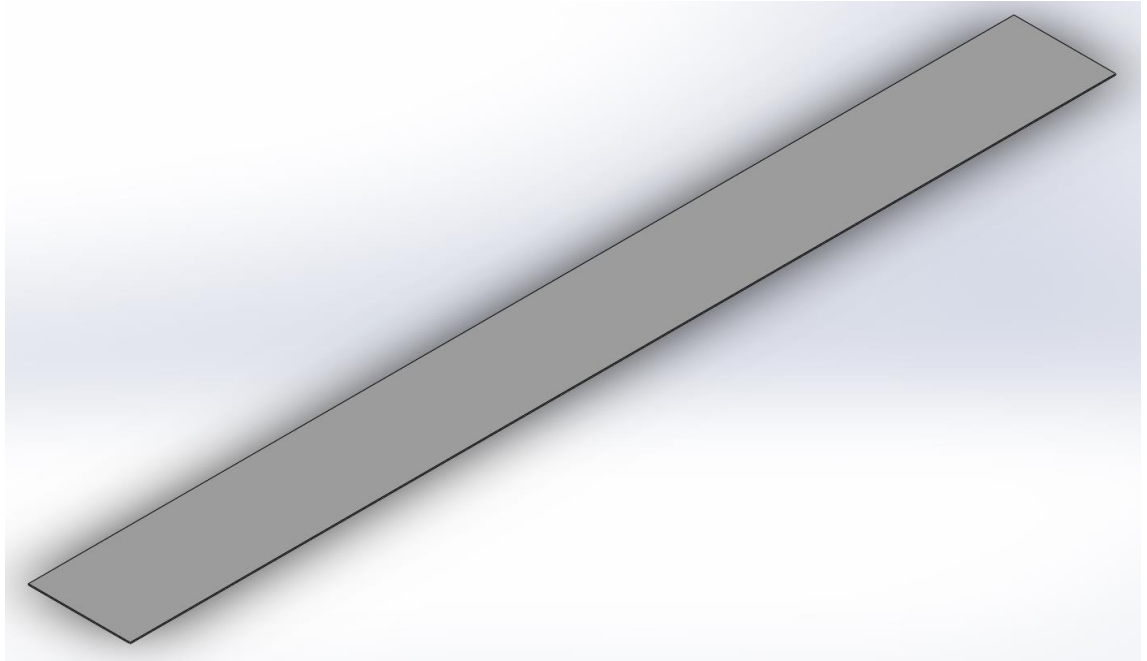


Figura 91 Difusor

Para asegurar que no se marque ningún LED y que la emisión de luz sea uniforme, se elegirá un espesor de 1,5mm.

#### **4.3.1.3 Aluminio Especular.**

Esta pieza tiene como función guiar los haces de luz que no han salido a través del difusor y que se escapan por los bordes del metacrilato y volverlos a éste para que sigan reflexionándose hasta que salgan por la cara inferior del difusor.

Debido a sus características ópticas se usa el aluminio especular. Como su propio nombre indica, la reflexión que se da en este tipo de aluminio es especular, es decir, que los rayos que inciden en la superficie salen rebotados en una única dirección con el mismo ángulo con el que inciden. Esto se debe a que la superficie es perfectamente lisa.

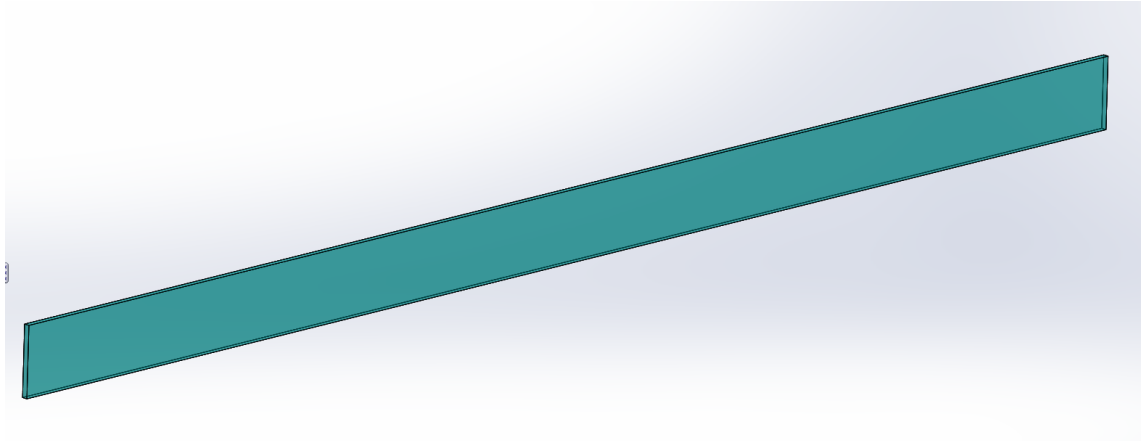


Figura 92 Aluminio Especular

Puesto que la única función es óptica y no tiene un uso estructural se emplea un espesor de 0,5 mm para añadir el menor peso posible a la luminaria.

#### 4.3.1.4 Ultrablanco.

Su función es la de recuperar los haces de luz que se escapan por la superficie superior del metacrilato serigrafiado y reflejarla hacia la cara opuesta por donde debe salir la luz a través del difusor. Su forma viene condicionada por las dimensiones del metacrilato ya que ésta debe cubrir toda la superficie superior. Dos esquinas del mismo están contadas a 45° para sacar los cables de las placas.

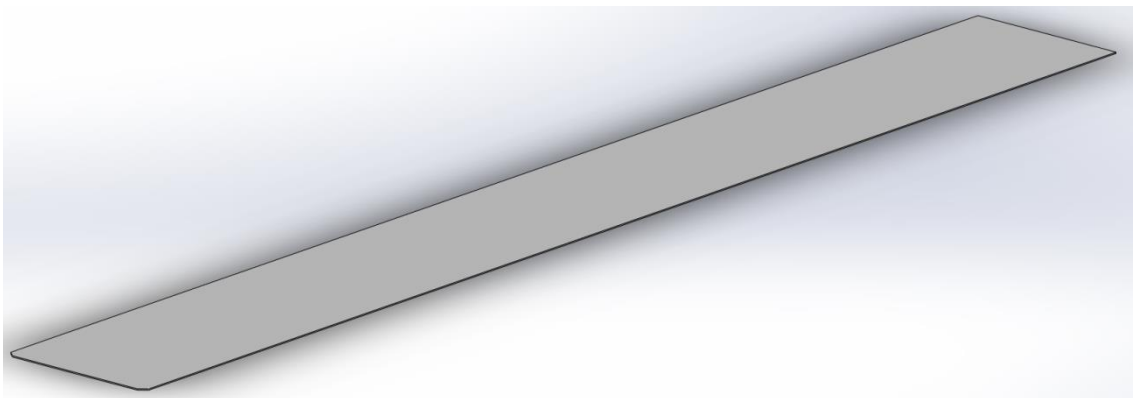


Figura 93 Ultrablanco

El Micro-Celular PET (Polietileno Tereftalato), conocido también por sus propiedades ópticas como ultrablanc, es una espuma de un espesor de 10  $\mu m$  que viene en planchas

termoconformadas por ambos lados para crear una plancha de material de 1mm de espesor, aumentando su reflexión hasta el 99%, y la reflexión difusa en un 96% ante el 89% de reflexión total y el 10% de reflexión difusa de las superficies de los metales especulares. El MCPET a parte de aumentar la reflexión no absorbe parte de la radiación electromagnética que le llega, por lo que se evita el cambio de luz reflejada a tonos azulados con respecto a la fuente de luz, como ocurre con los metales especulares

A continuación se muestra la reflexión total y la difusa entre las superficies especulares y el ultrablanco.

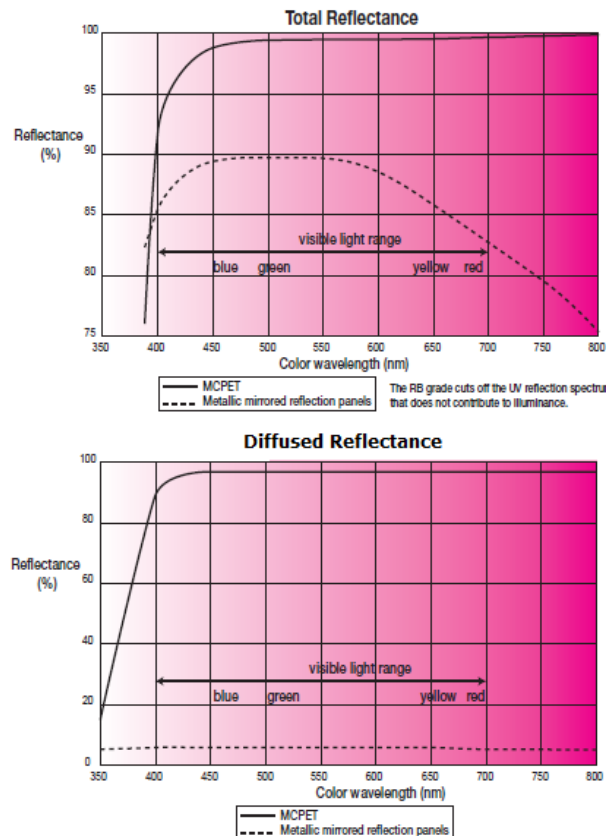


Figura 94 Reflexión total y reflexión difusa del ultrablanco y del metal especular

Con el aumento de la reflexión total se consigue un ahorro económico ya que la intensidad lumínica emitida por la luminaria es más cercana a la emitida por la fuente de luz al reducirse las pérdidas, por lo que se precisan de menos fuentes de iluminación.

El MCPET se suele emplear en lugar de metales especulares en aplicaciones donde se requiera distribuir la luz proveniente de la fuente en todas las direcciones. Este tipo de luminarias suele ir con un difusor para homogeneizar los haces de luz.

Además de poseer unas buenas especificaciones ópticas, el ultrablanco posee unas buenas propiedades mecánicas y gran resistencia a altas temperaturas. Su baja densidad con respecto a los metales especulares hace del ultrablanco la mejor solución para esta luminaria.

A continuación se muestra una tabla con las propiedades mecánicas del MCPET.

Item	Direction	Unit	MCPET (RB)
Thickness		mm	1.0
Total reflectivity* <sup>1</sup>		%	99
Diffuse reflectivity* <sup>1</sup>		%	96
Tensile strength	MD	MPa	20
	TD		18
Elongation	MD	%	123
	TD		68
Tearing strength	MD	MPa	76
	TD		99
Bending strength	MD	MPa	19
	TD		14
Flexural modulus	MD	MPa	1156
	TD		882
Thermal dimensional change rate (100°C, 22h)	MD	%	0.37
	TD		0.24
Heat distortion temperature (TMA method)	MD	°C	75 (202)
	TD		75 (201)
Glass-transition temperature		°C	75
Fire retardancy		UL94	HBF

\*1 : Reflectivity is the relative value against BaSO<sub>4</sub> white plate at 550 nm

Tabla 15 Propiedades mecánicas del MCPET

#### 4.3.2 Componentes Estructurales.

Estos componentes son los encargados de mantener todas las partes juntas y en la posición adecuada para que los componentes ópticos funcionen correctamente. Por este motivo las piezas deberán cumplir una función estética, ya que es la parte visible de la luminaria, y una función mecánica.

Se pueden diferenciar varios componentes en este grupo.

##### 4.3.2.1 Perfil.

Esta pieza es la encargada de mantener los diferentes componentes ópticos unidos y de dotar de rigidez a la luminaria. Para su diseño se ha tenido en cuenta tanto factores de funcionalidad y estéticos, como económicos.



Por sus propiedades mecánicas, densidad, capacidad disipativa y su facilidad de extrusión, el material elegido para esta pieza ha sido el aluminio 2561.

El aluminio 2561 es una aleación de alta resistencia mecánica, dúctil (apropiado para procesos de extrusión, mecanizado y moldeo) y muy ligero. Posee además gran conductividad térmica y eléctrica, es resistente a la oxidación y la corrosión. Es un material reciclable 100%.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de dicha aleación y los aleantes utilizados.

Propiedades y Aleantes	Unidades	L-2521	L-2520	L-2560	L-2561	L-2630
Resist. Trac., Rm	N / mm <sup>2</sup>	240	150	180	240	240
Lím. elást., Rp <sub>0,2%</sub>	N / mm <sup>2</sup>	140	80	90	140	140
Módulo elastic.	N / mm <sup>2</sup>	75.000	75.000	75.000	75.000	72.500
Densidad a 20 °C	Kg / dm <sup>3</sup>	2,63	2,65	2,68	2,65	2,75
Intervención. Fusión	°C	570 a 585	575 a 585	555 a 590	555 a 585	510 a 610
Coef. Dilatación	x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	20,5	20,0	20,0	21,0	21,5
Contrac. Solidif.	%	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
Conduct. Eléctr.	mW x cm <sup>2</sup> /cm	15 a 20	16 a 23	19 a 25	16 a 21	13 a 17
Alargamiento	%	1	4	2,5	1	<1
Dureza Brinell	-	70	50	55	70	80
Design. simból.		Al- 12SiCuFe	Al-12Si	Al- 10SiMg	Al- 10SiMgFe	Al- 9Si3Cu3ZnFe
Si	%	10,5 a 13,5	10,5 a 13,5	9,0 a 11,0	9,0 a 11,0	8,0 a 11,0
Fe	%	1,3	0,65	0,55	1,0	1,3
Cu	%	0,7 a 1,2	0,15	0,05	0,10	2,0 a 4,0
Mn	%	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55
Mg	%	0,35	0,10	0,20 a 0,45	0,20 a 0,50	0,05 a 0,55
Ni	%	0,30	0,10	0,05	0,15	0,55
Zn	%	0,55	0,15	0,10	0,15	3,00
Ti	%	0,20	0,20	0,15	0,20	0,25
Pb	%	0,20	0,10	0,05	0,15	0,35
Sn	%	0,10	-	0,05	0,05	0,25
Al	%	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante

Tabla 16 Propiedades de las diferentes aleaciones de aluminio



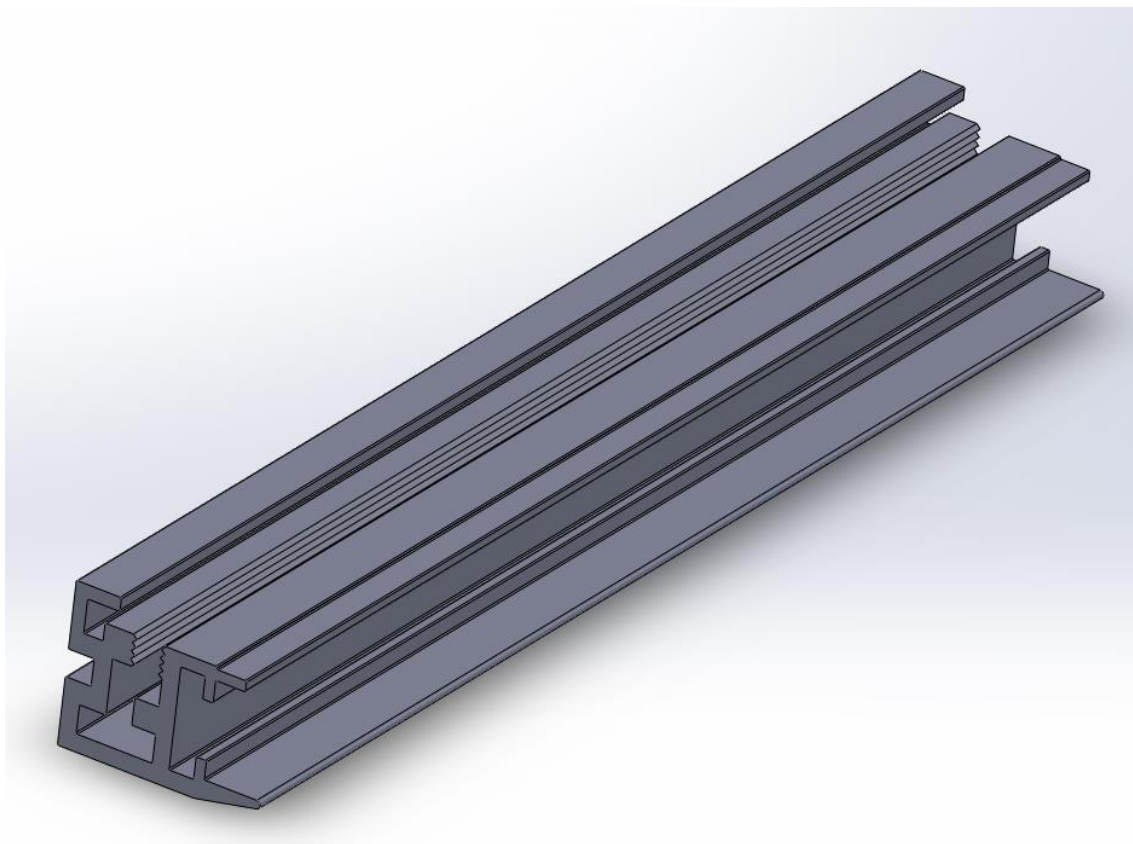


Figura 95 Perfil aluminio

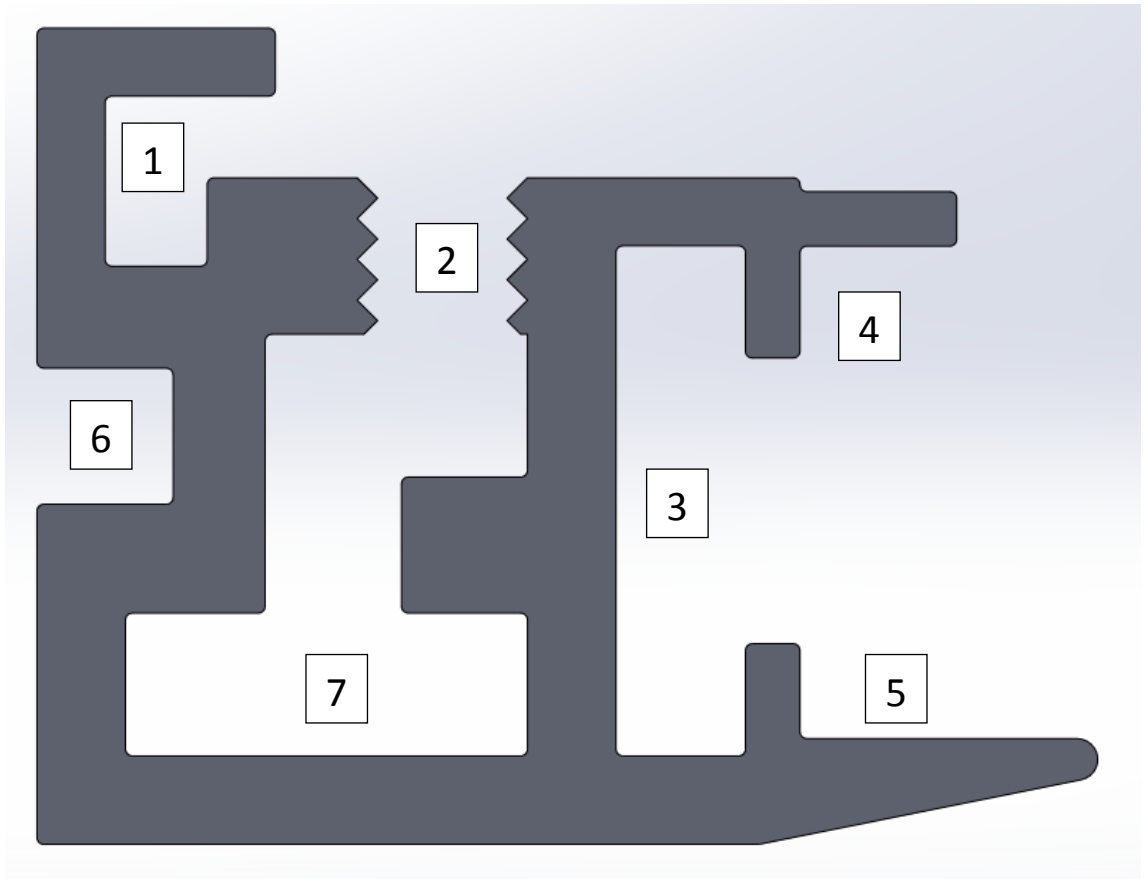


Figura 96 Vista del perfil de aluminio

Como se puede ver en la figura 96, el perfil no posee ningún contorno cerrado, esto se debe a que el hecho de tener un contorno cerrado en extrusión dificulta el extrusionado e implica el uso de una matriz de dos piezas; el macho o mandril (la pieza que forma las cavidades del perfil) sostenido por un puente a través del cual pasa el metal durante la extrusión; y otra pieza que da forma al contorno exterior del perfil. Por consiguiente, el hecho de usar contornos cerrados encarecería mucho la matriz [11].

Una de las ventajas de esta luminaria, frente a las demás, es el espesor reducido, por lo que se diseñará un perfil con fin último el albergar todos los componentes en el menor espacio posible, teniendo en cuenta tanto las tolerancias como la facilidad a la hora de montaje y fabricabilidad. Otro factor a tener en cuenta a la hora de diseño de un perfil es el uso mínimo de material, ya que aumenta el peso del perfil y encarece el mismo.

A continuación se explica la función de cada ranura y el porqué de su forma.

1. Esta ranura tiene la función de sujetar la chapa trasera. Debe de tener la suficiente holgura como para permitir que la chapa entre en corredera. La cavidad que se prolonga hacia abajo es simplemente para reducir el material del perfil.
2. Esta ranura estriada tiene como función abrir el contorno del hueco 6 y permitir roscar tanto tornillos de aluminio como de métrica. La idea de dejar este estriado es por una

posible incorporación futura de tornillos en el caso de necesitar incorporar alguna chapa o sistema de enganche de la luminaria.

3. Esta cavidad es donde se alberga la placa LED y se debe poder introducir en corredera. Los dos nervios tienen como función separar los LEDs del Metacrilato serigrafiado 0.1mm y evitar que se dañen. La longitud máxima de dichos nervios viene determinado por la posición del circuito eléctrico de la placa LED, no pudiéndose tocar en ningún caso.
4. Entre el nervio 4 y 5 es donde se albergan (por orden ascendente) el difusor opal, el metacrilato serigrafiado, y el ultrablancos. El nervio 4 tiene como finalidad el mantener unidos todos estos componentes y de albergar las tiras de aluminio especular que se encuentran en los tramos de perfiles frontales y laterales al del que contiene las placas LEDs.
5. En esta pestaña se apoya el difusor opal y debe ser lo suficientemente larga como para tapar la zona del borde hasta donde la luz empieza a ser uniforme.
6. Este hueco está únicamente por razones estéticas, para romper el plano y dar una sensación de ser un perfil más pequeño.
7. Este espacio es donde se introduce la escuadra dentada que une los perfiles, por lo que deberá ir lo suficientemente ajustado para que se claven los dientes de la escuadra y evitar que se desmonte. El hueco está abierto para librarse de tener que hacer un macho o mandril para el molde y economizar el perfil.

Una vez que se tiene el perfil solo hay que cortarlo a las longitudes deseadas e ingletar los extremos a 45°.

#### **4.3.2.2 Chapa trasera.**

Esta pieza consiste en una chapa de aluminio de 1,5mm de espesor, con un orificio por el que se sacan los cables de las placas LEDs. Para que la luminaria cumpla con la normativa UNE-EN 60598 la chapa estará dotada de dos orificios para instalar un antitirón y que los cables de las placas no puedan ser arrancados.

La función es de cerrar la luminaria, cubrir el ultrablancos y los cables de las placas LEDs, además de dar rigidez y evitar que se abran las escuadras.

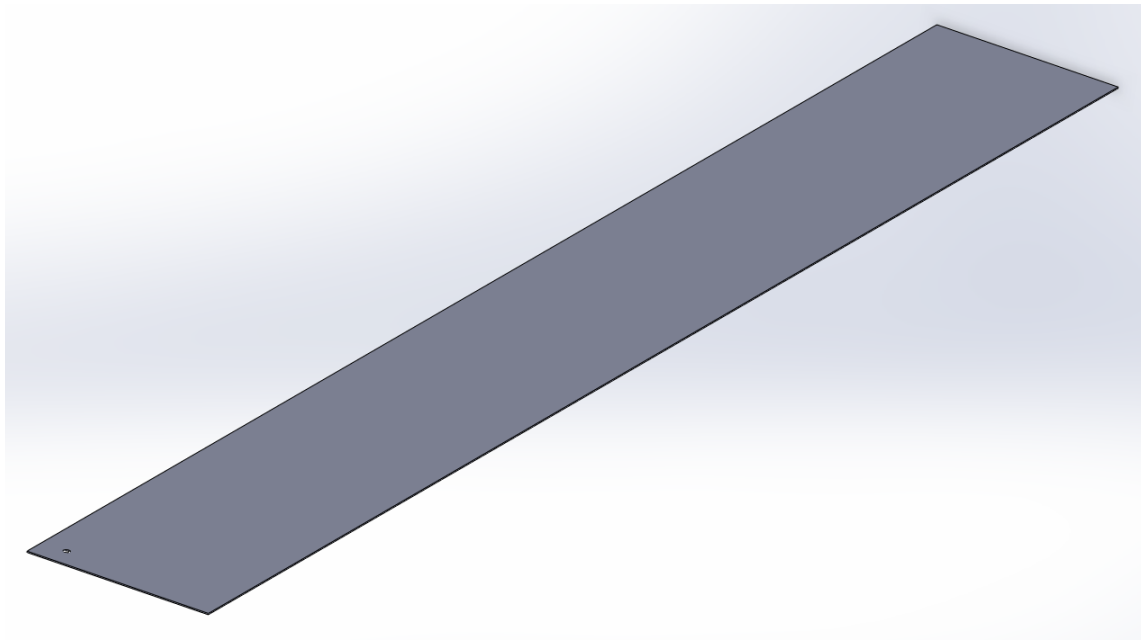


Figura 97 Chapa trasera

Esta chapa se sitúa en la ranura superior del perfil sin ningún tipo de tornillos ni adhesivos, quedando encajada entre los cuatro perfiles.

De acuerdo con sus exigencias mecánicas se decidió que el aluminio era el material más adecuado para cumplir esta función gracias a su baja densidad y su resistencia mecánica. Se pensó en chapa de acero electrocincado por su facilidad para ser soldada por soldadura por punto, pero hacía que la luminaria fuera muy pesada. Otro motivo por el que se pensó en hacerla de acero fue la posibilidad de usar imanes a la hora de instalarla.

#### **4.3.2.3 Escuadras.**

Una vez diseñados los perfiles de aluminio se piensa en la manera de unir los diferentes tramos que conforman el borde de la luminaria. Desde el primer momento se pensó en un sistema que no implicara ningún tornillo ni sistema de unión visible, se pensó en la soldadura, pero se quedaba un cordón que habría que mecanizar e igualar, idea que igualmente se descartó. Tras haber desechado varias opciones, como el pegarlas, se decidió introducir una escuadra en el perfil, por lo que se modificó y se introdujo una ranura en la que insertarla.

A la hora de diseño se pensó en una forma que impidiera que se saliesen las escuadras una vez introducidas, dotando a la misma de unos dientes que se clavarán en el perfil de aluminio a la hora de ser introducidas. Por razones estéticas, puesto que la unión en escuadra entre los diferentes tramos de perfiles tenía que quedar perfectamente unida, se hizo un

redondeo en el ángulo interno de la escuadra que permitiera introducir la misma hasta que las dos caras quedaran perfectamente unidas.

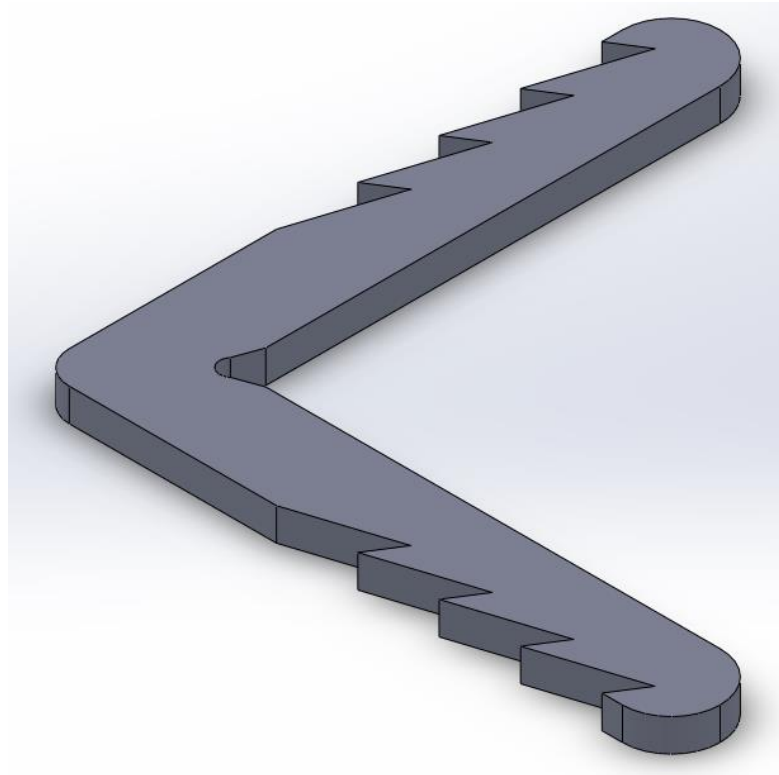


Figura 98 Escuadra

Estas piezas son las que sujetan y mantienen la luminaria unida, siendo las que soportan esfuerzos a tracción y momentos que impidan que se deforme la luminaria. Por este motivo para la realización de dichas piezas se empleó chapa de acero de 2mm de espesor cortada por láser.

El acero posee unas propiedades idóneas para esta función, debido a su alta dureza y a su capacidad para ser cortado por láser será el material empleado para esta pieza.

#### ***4.3.2.4 Tira adhesiva de espuma.***

Por el diseño del perfil y la manera en las que deben ir colocados los componentes, surge un espacio entre el ultrablanco y la chapa trasera. Con el fin de mantener en contacto el ultrablanco al metacrilato serigrafiado, se coloca una tira adhesiva de espuma con el espesor del hueco que mantiene presionado la chapa trasera al mismo para que el ultrablanco guíe la luz hacia el metacrilato correctamente.

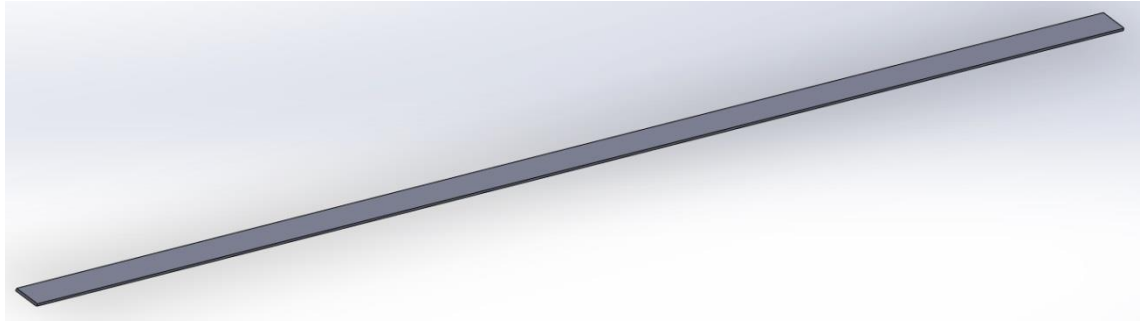


Figura 99 Tira adhesiva de espuma

#### 4.3.3 Fuente de luz.

La fuente de luz elegida por su eficiencia y sus dimensiones son dos placas de LEDs compuestas por 48 LEDs cada una, los cuales están montados en cuatro ramas de 12 LEDs cada una.

Cada LED está soldado a la placa mediante cuatro patillas. Sus dimensiones son las siguientes:

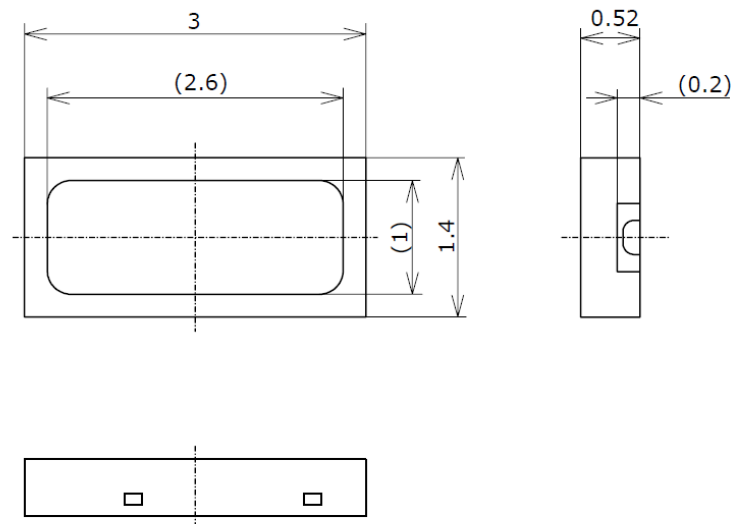


Figura 100 Dimensiones del LED

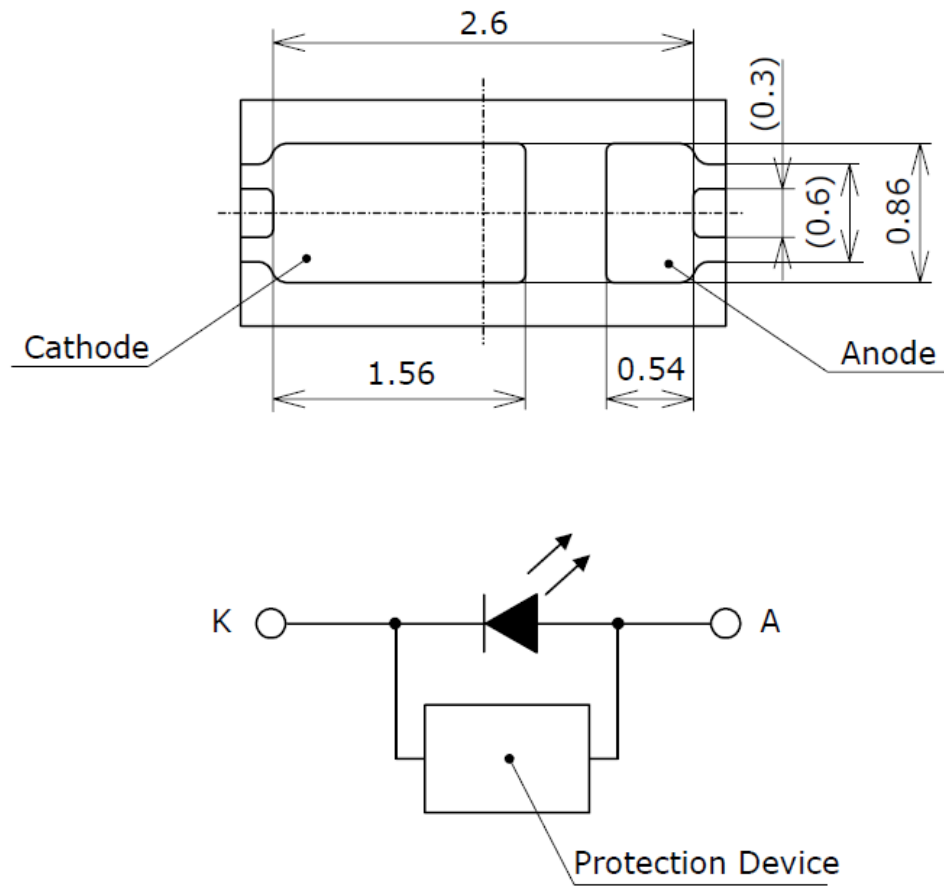


Figura 101 Sistema eléctrico del LED

La iluminancia relativa de cada LED para los distintos ángulos es la siguiente:

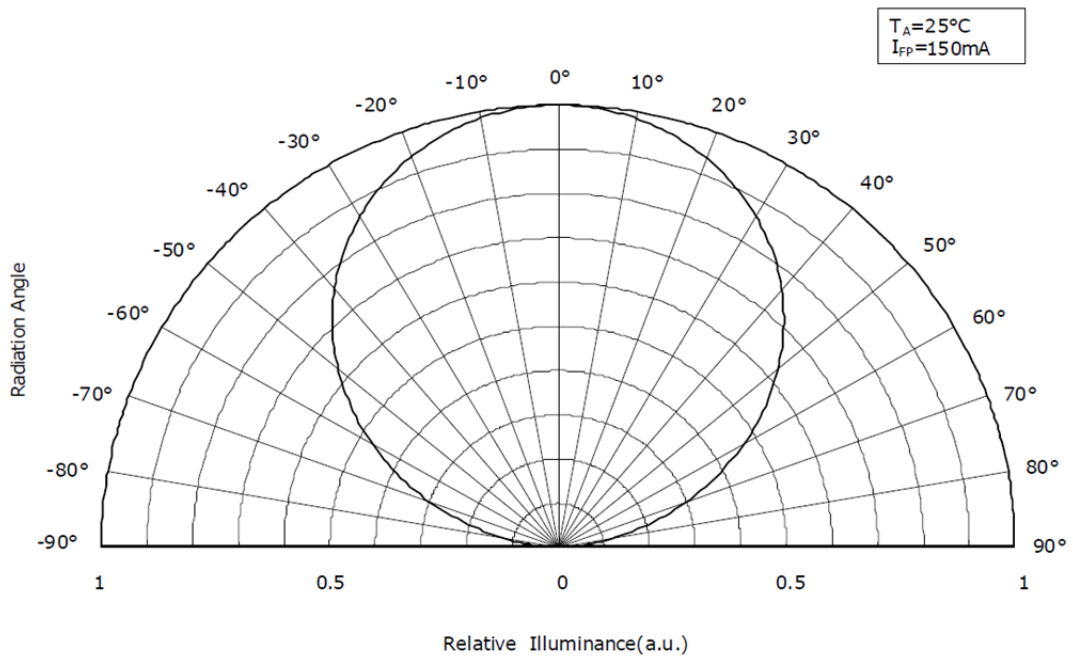


Figura 102 Distribución del haz de luz para distintos planos

Para no sobrepasar la temperatura máxima de los LEDs y no bajar mucho la eficiencia de los mismos, se alimentará a 500mA, pasando por cada rama una intensidad de 125mA.

Puesto que la caída de tensión en cada LED es de 3,15V, se alimentará la placa con 37,8V. Alimentando cada una a 500mA y 37,8V, el consumo por placa es de 18,9W. Teniendo en cuenta que la luminaria tiene dos placas conectadas en serie, el consumo total será de 37,8W.



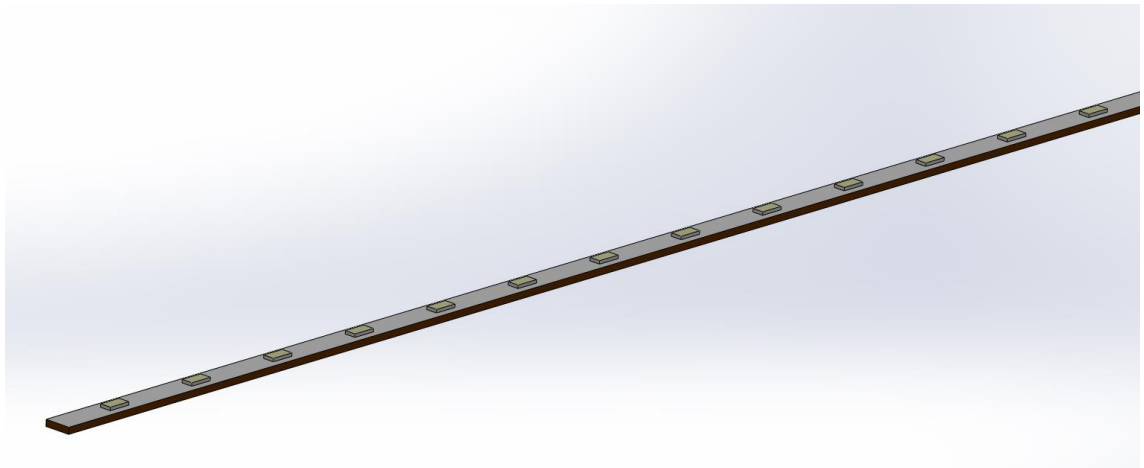


Figura 103 Placa LED

En la siguiente figura se observa la intensidad de la placa y la que circula por cada rama.



Figura 104 Esquema elèctric de la placa LED

#### 4.3.4 Unidad de alimentación.

La luminaria está alimentada por un convertidor (driver) que suministra corriente a las dos placas conectadas en serie. Este driver se caracteriza por que da la posibilidad de alimentar a diferentes intensidades en función de la configuración que se seleccione. Como se mencionó anteriormente, por las condiciones de trabajo de los LEDs, éste deberá dar una corriente de salida de 500mA y una potencia mínima de 37,8W para que la caída de tensión en cada LED sea la correcta.



Figura 105 Driver Maxi Jolly 80 Slim HV

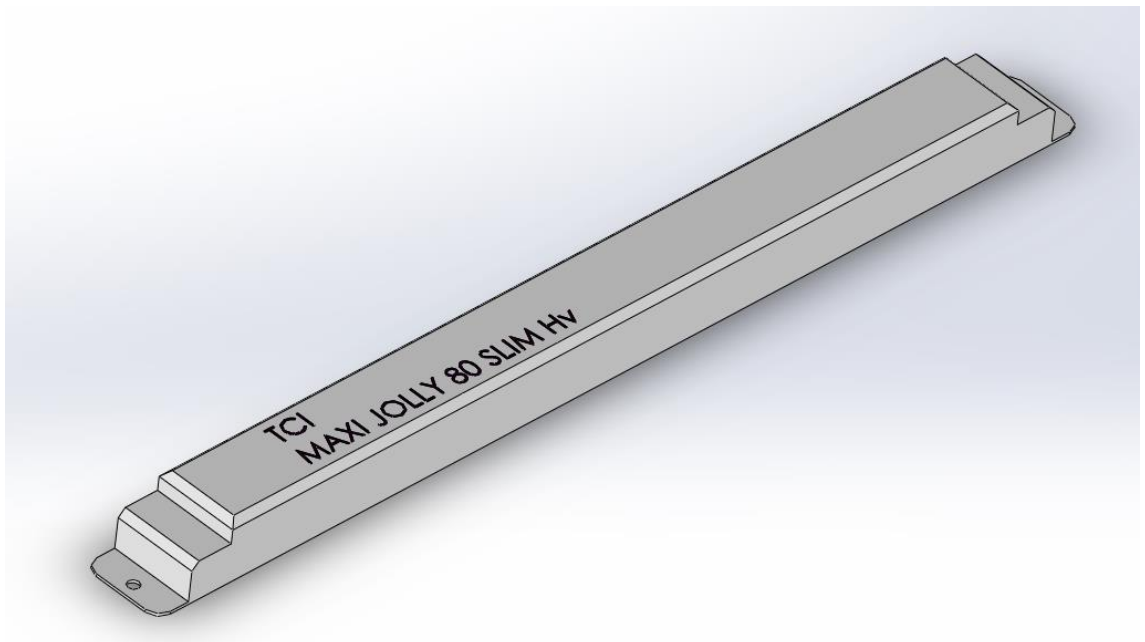


Figura 106 Driver Maxi Jolly 80 Slim HV SolidWorks

Article Articolo	Code Codice	W	V out DC	I out DC
<b>Constant current output - Uscita in corrente costante</b>				
<b>DC MAXI JOLLY 80 SLIM HV</b>	122686	35	30 ÷ 170 V	200mA cost.
		37	30 ÷ 170 V	220mA cost.
		40	30 ÷ 170 V	240mA cost.
		44	30 ÷ 170 V	260mA cost.
		47	30 ÷ 170 V	280mA cost.
		50	30 ÷ 170 V	300mA cost.
		53	30 ÷ 160 V	320mA cost.
		57	30 ÷ 160 V	340mA cost.
		60	30 ÷ 160 V	360mA cost.
		63	30 ÷ 160 V	380mA cost.
		66	30 ÷ 160 V	400mA cost.
		69	30 ÷ 160 V	420mA cost.
		72	30 ÷ 160 V	440mA cost.
		76	30 ÷ 160 V	460mA cost.
		80	30 ÷ 160 V	480mA cost.
		80	30 ÷ 160 V	500mA cost.

Tabla 17 Características del driver

#### 4.4 Montaje de la Luminaria.

Puesto que la mano de obra es muy cara, esta luminaria se ha diseñado pensando en facilitar y agilizar en todo lo posible el montaje. Para ello no hacen falta tornillos, exceptuando los dos del antitirón del cable del driver, si no que todos los componentes van encajados. Para montar la luminaria hay que empezar uniendo el perfil donde van introducidas las placas LEDs, al opuesto y a un lateral. Todos ellos sujetos mediante las escuadras, las cuales se meten a presión en los tramos de perfil.

Una vez unidos los tres tramos, se introducen en este orden la tira de LEDs, en el carril destinado a ello, las tiras de aluminio especular a lo largo de los perfiles, el difusor, el metacrilato serigrafiado, el ultrablancos, la tira adhesiva de espuma y la chapa trasera de aluminio, todo ello en corredera y con cuidado de no dañar los LEDs. Una vez que se han introducido todos los componentes se sacan los cables por el taladro de la chapa trasera y se conectan al driver.

Ya colocados todos los componentes se introducen las dos escuadras restantes en el tramo del perfil que se quedó sin montar y se une al resto del conjunto mediante las escuadras.

En el caso de ir montado con el sistema de muelles, antes de introducir la chapa trasera se colocarán y remacharán las escuadras de los muelles que se explican en el apartado 4.3.1.

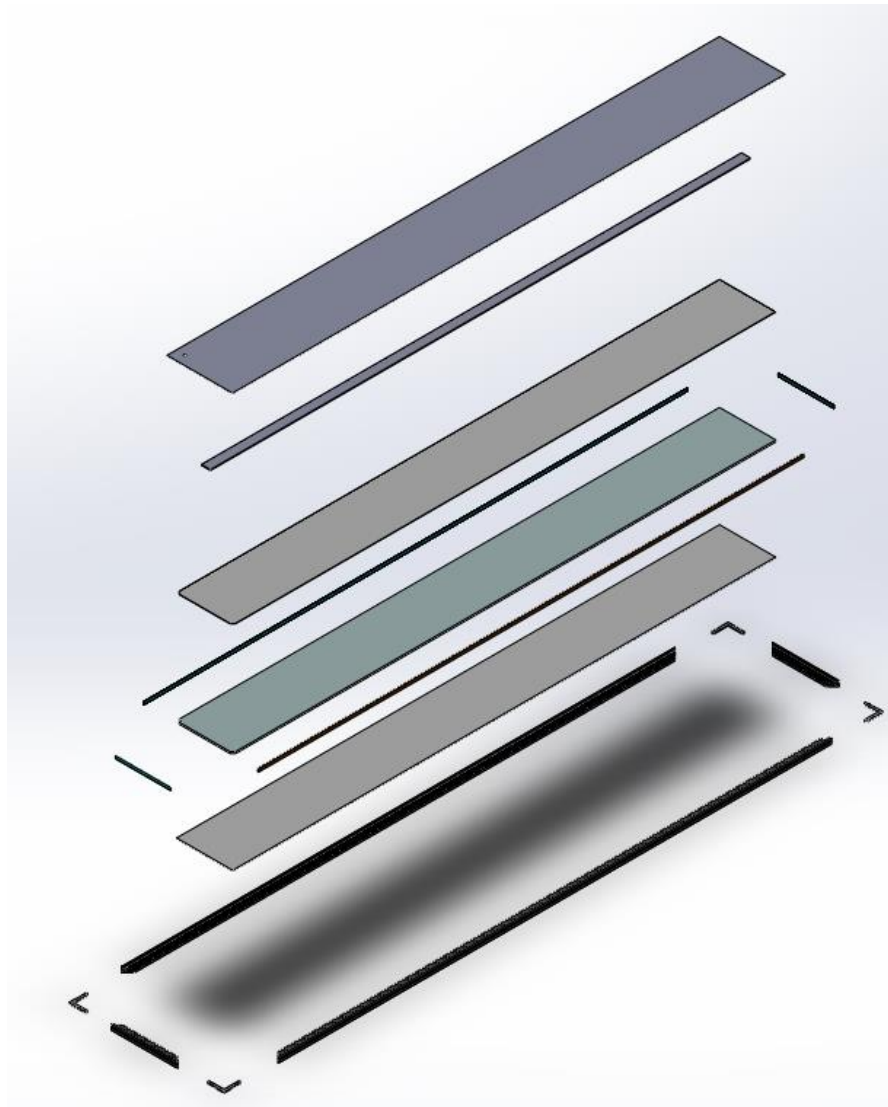


Figura 107 Luminaria explosionada

#### 4.5 Mejora del Modelo Inicial.

Una vez prototipado el primer modelo de la luminaria se vio que la zona del difusor pegada al bode del perfil emitía mucha luz, por lo que se aumentó la pestaña donde se apoya el difusor para tapar los haces de luz que se emiten por esta zona y reflejarlos hacia el interior del metacrilato y así repartir la luz uniformemente.

Puesto que los cables de la placa LED pasan a través de una chapa con arista viva, cosa que la normativa UNE-EN 60598 no permite, se introdujeron los mismos en un macarrón de silicona en el tramo donde están en contacto con la chapa.



Figura 108 Prototipo

#### **4.6 Sistemas de Sujeción.**

Una vez diseñada la luminaria surge el problema de la instalación y enganche al techo. Para ello se pensó en dos sistemas muy utilizados en luminarias, el uso de muelles y la tira continua, empleando en este caso una estructura de chapa para mantenerlas alineadas.

##### **4.6.1 Sistema de Muelles.**

Este sistema surge ante la idea de crear un modo de instalar la luminaria de manera que sea lo más sencilla y rápida posible, pudiéndose montar por un solo instalador.

Este sistema consiste en el anclaje de la luminaria al falso techo, ya sea de yeso, pladur, o módulos de chapa, mediante cuatro muelles unidos a la luminaria por una escuadra de chapa.

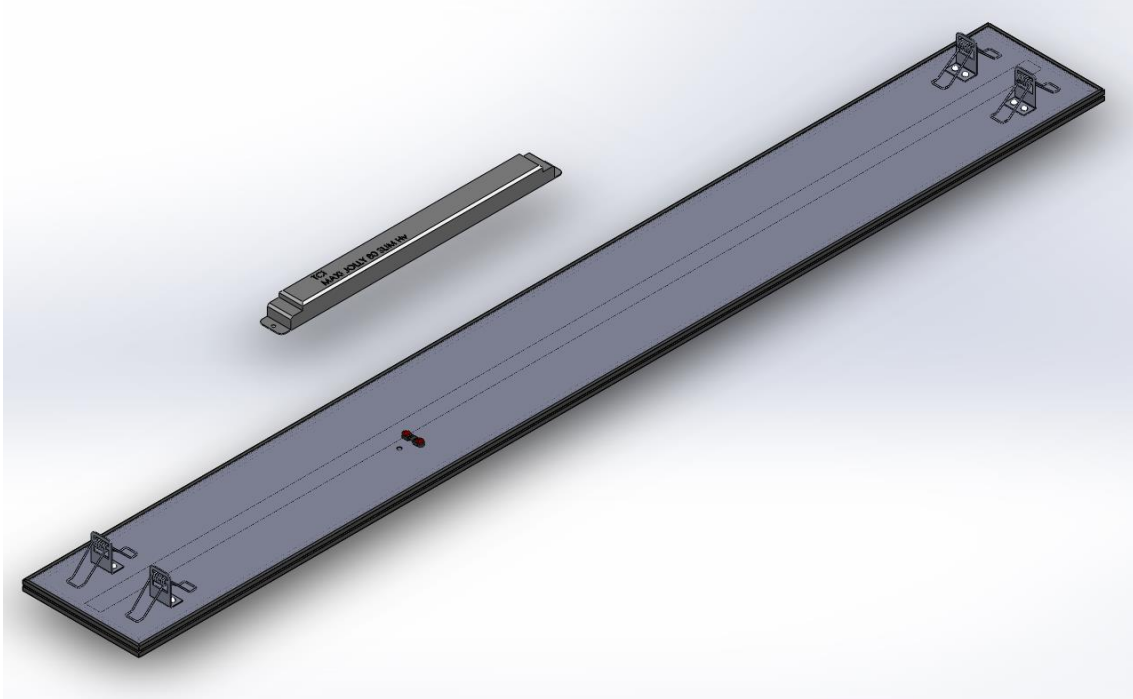


Figura 109 Luminaria con anclaje por muelles

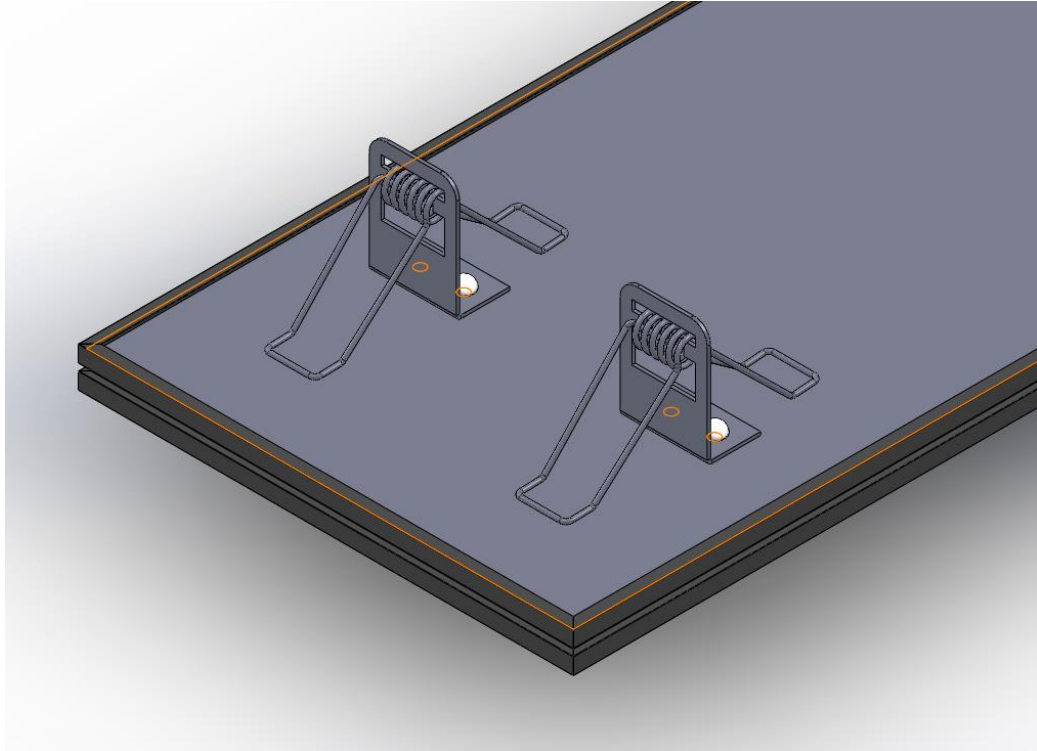


Figura 110 Detalle luminaria con anclaje por muelles

Este sistema funciona gracias a la fuerza del muelle, que presiona la luminaria contra el falso techo. En cuanto a la manera de unir la luminaria a la escuadra que contiene al muelle, se pensó en soldarla a la chapa trasera mediante unos puntos de soldadura, siempre y cuando ésta fuera de acero, pero hacía la luminaria muy pesada. Posteriormente se barajó la posibilidad de unirla mediante tornillos de métrica, pero al ser una luminaria con las dimensiones tan reducidas, no había hueco para la cabeza del tornillo ni para una tuerca, por lo que también se descartó. La opción definitiva fue la de unir la escuadra a la chapa mediante dos remaches, colocando la cabeza por la parte interior de la luminaria.

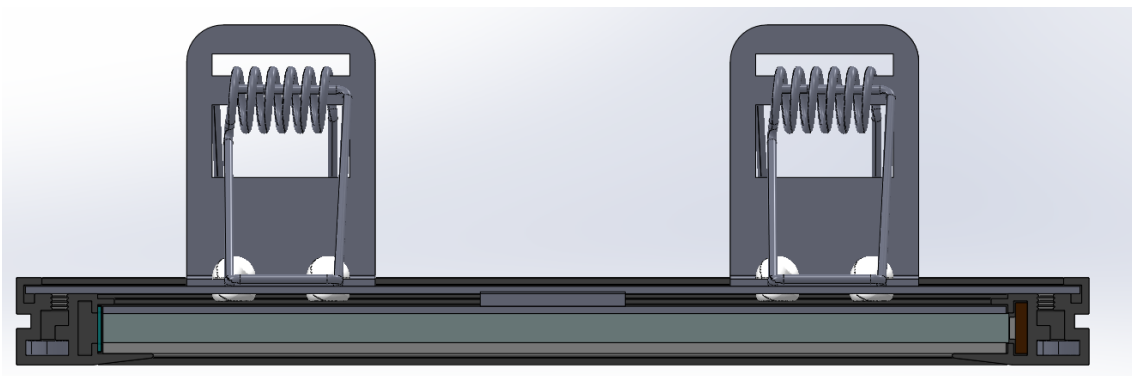


Figura 111 Sección luminaria con anclaje por muelles

Puesto que la escuadra es la que aguanta toda la luminaria, esta se realiza en chapa de acero electrozincado de 1mm de espesor, con una abertura para alojar el muelle, que permite el movimiento del mismo, y dos taladros de 3,2mm de diámetro para introducir los dos remaches.

Para el modelado del muelle se parte de un diseño muy utilizado en las luminarias de empotrar. Las modificaciones se realizan en función de los requisitos que tiene que cumplir este para su correcto funcionamiento. Se diseña con 6 espiras, ya que tiene que abrirse lo suficiente como para poder introducirlo en el techo, y con unas patillas lo suficientemente largas como para que llegue al falso techo y realice cierta fuerza en esa posición. En cuanto al diámetro del hilo se elige el utilizado en otros muelles que han dado buen resultado.

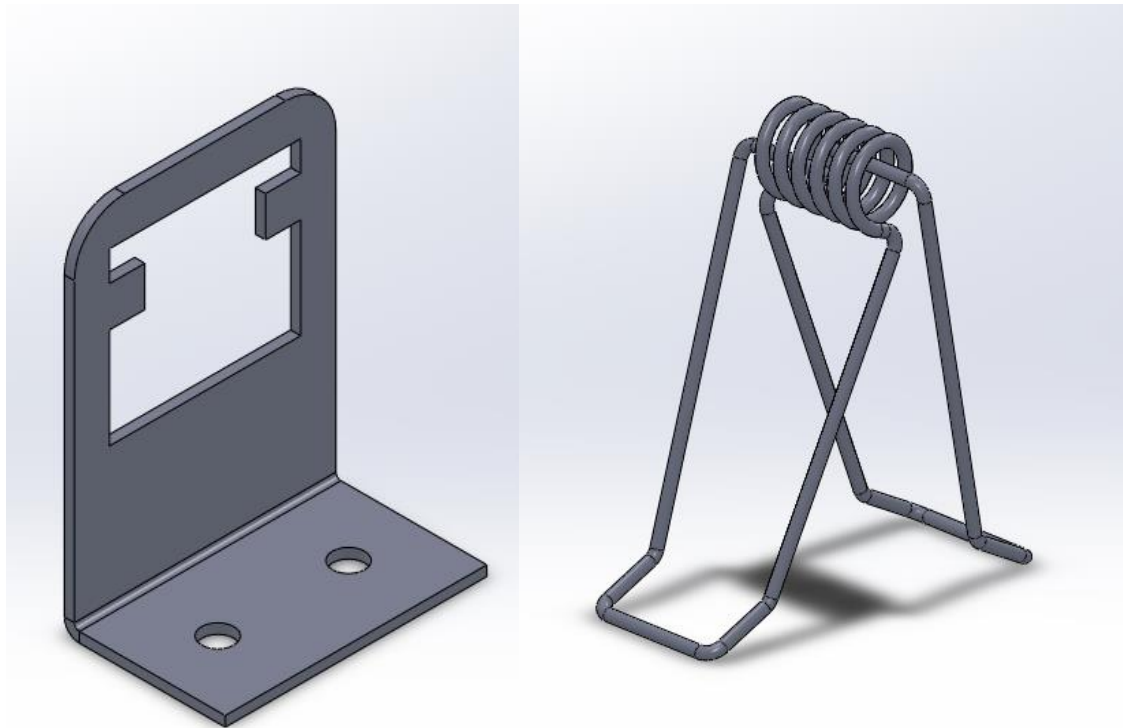


Figura 112 Escuadra de chapa y muelle.

La instalación de este sistema es muy sencillo, solo se precisa de cuatro taladros en el techo de 40mm de diámetro para introducir los muelles y otro para alojar el driver, una vez conectados los cables. A continuación se muestra la luminaria instalada en un falso techo de yeso.



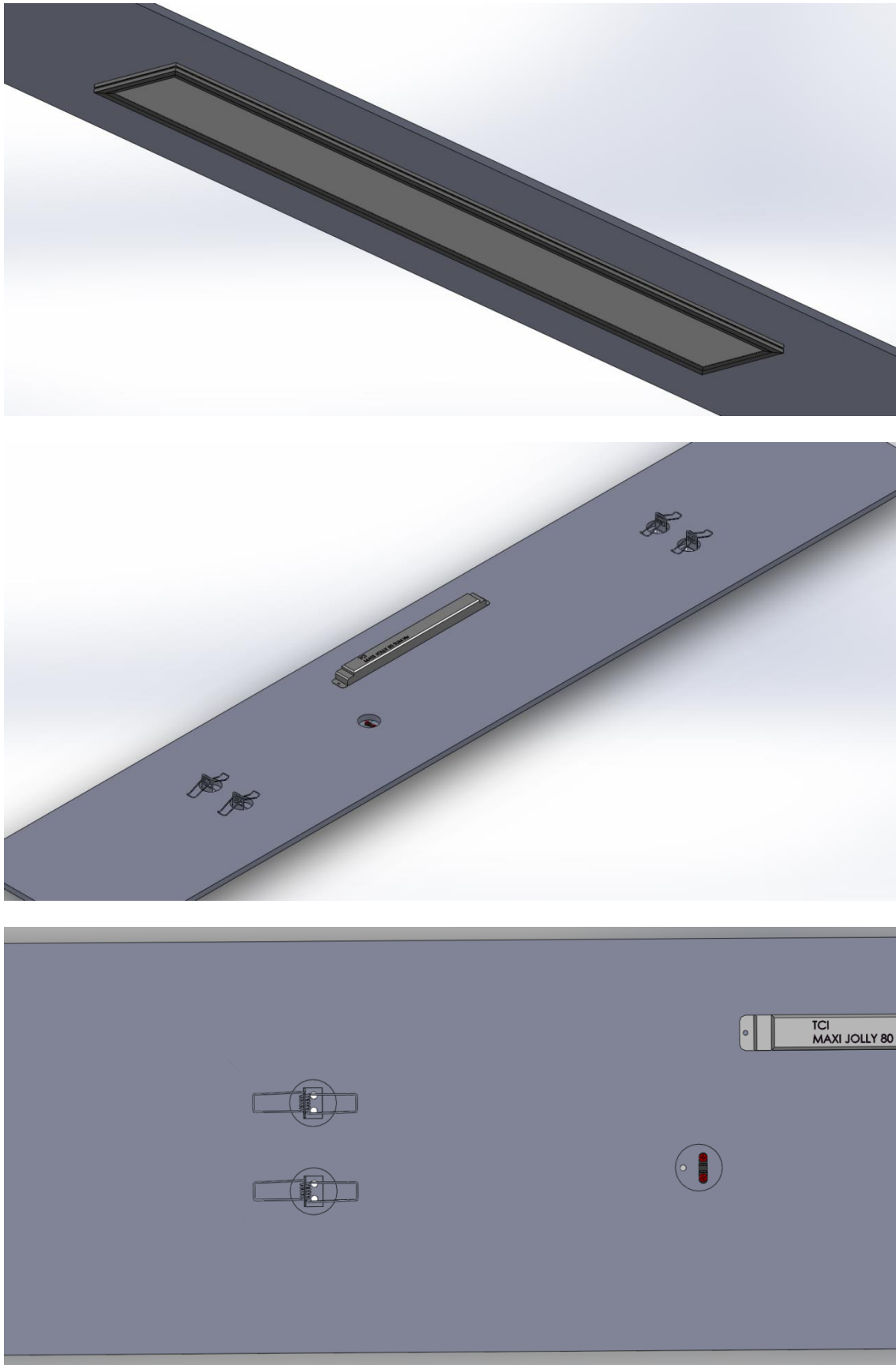


Figura 113 Luminaria Instalada en un techo de yeso.

#### 4.6.2 Sistema de Imanes en Tira Continua.

El siguiente sistema consiste en la colocación de diferentes módulos de luminarias para formar una única tan larga como se desee. Para ello se realizan varias configuraciones, inicio intermedio y fin, que se alojan en una estructura de chapa a la que se sujetan mediante una serie de imanes.

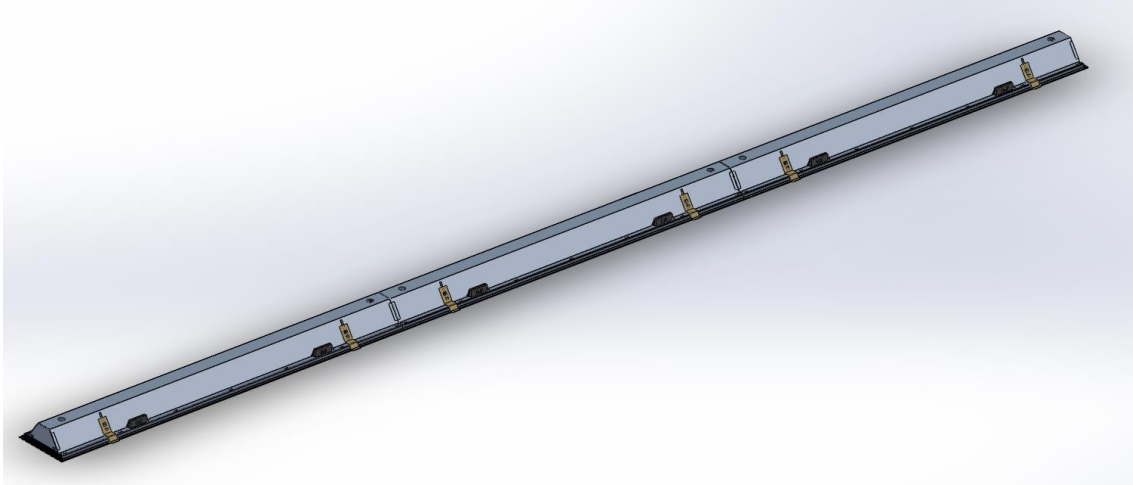


Figura 114 Luminarias en tira continua.

Para la realización de este sistema es necesario modificar la configuración de la luminaria en función de la posición que ocupe en el conjunto.

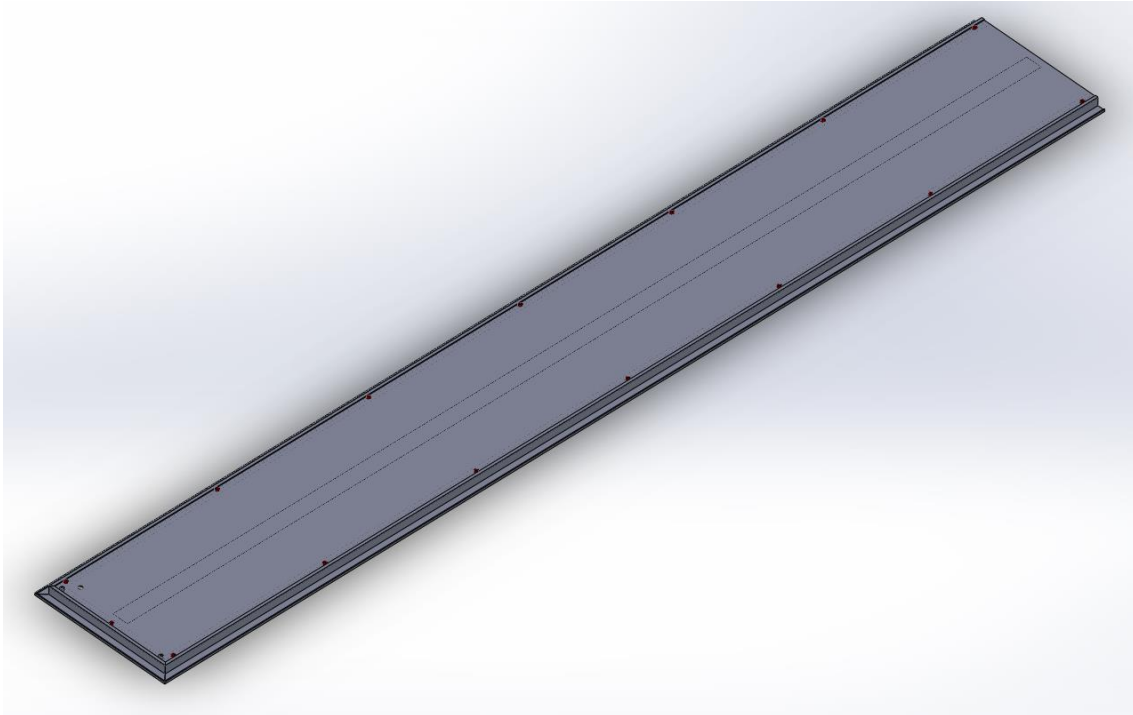


Figura 115 Luminaria inicio

En la figura 115 se muestra la configuración inicio. Como se puede apreciar, estas configuraciones difieren de las primeras en que para crear continuidad uno de sus lados no posee perfil, de esa forma los componentes ópticos crean una continuidad lumínica.

Puesto que la luminaria va montada en corredera y uno de sus lados no tiene perfil, a la chapa trasera se le incorporan unos taladros donde se insertan unos tornillos que van atornillados al perfil. Con esto se evita que los componentes se salgan del perfil.

Otra modificación sustancial se da en el perfil, al que se le incorpora una lengüeta que tapa la chapa de la estructura y que evita que la luminaria se cuele en el techo.

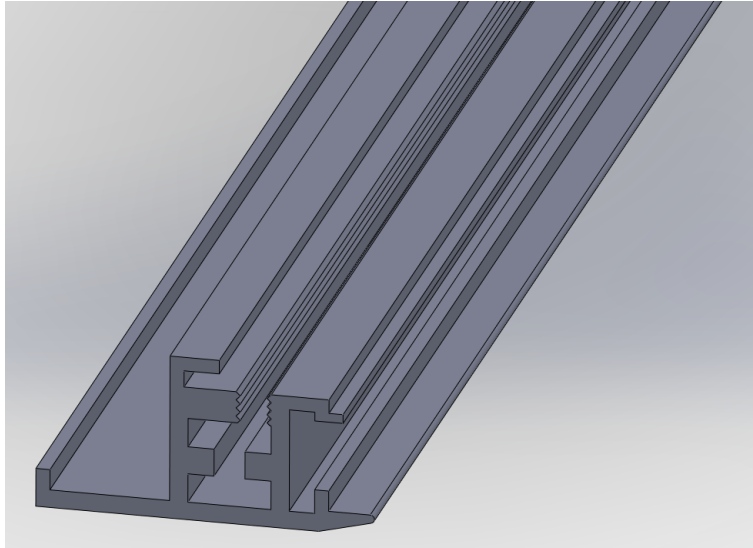


Figura 116 Perfil luminaria continua

Como se observa en la figura anterior, la lengüeta posee además una prolongación hacia arriba. Ésta tiene la función de enrasar el perfil al techo y de cubrir el canto de la chapa de la estructura.

Para sujetar las distintas configuraciones se diseña un cuerpo de chapa provisto de una serie de anclajes que lo mantienen pegado al techo. A su vez los distintos tramos de luminaria van sujetos a dicho cuerpo mediante cuatro imanes que se adhieren a la chapa trasera, en este sistema de acero en vez de aluminio.

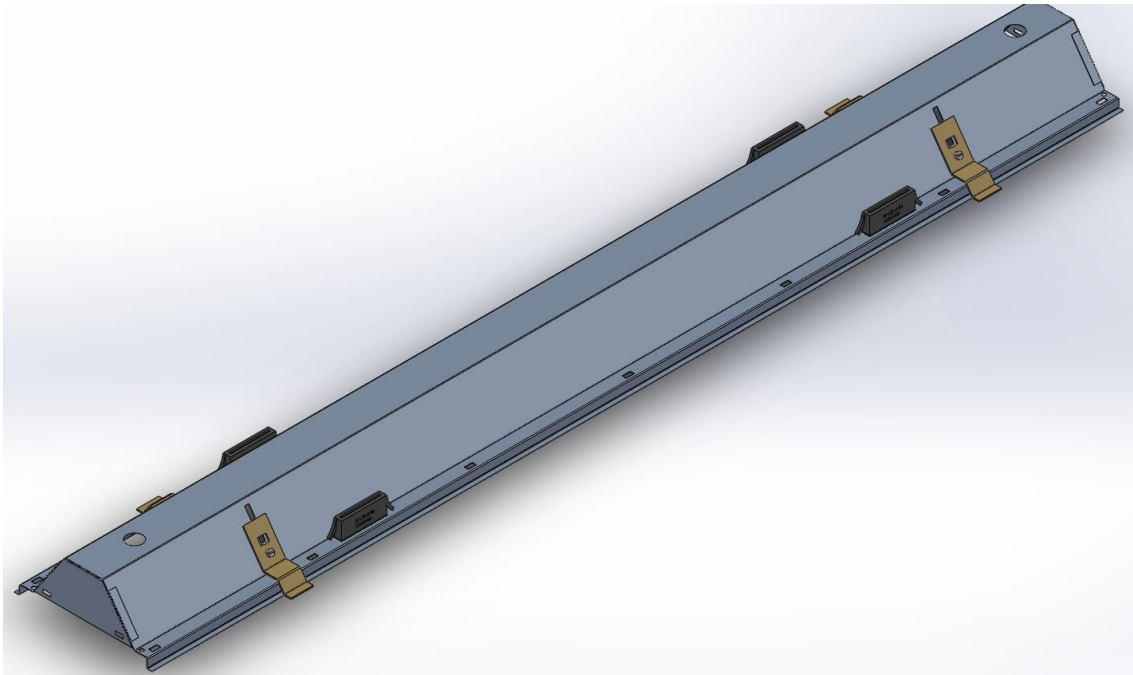


Figura 117 Cuerpo de aluminio

Una vez diseñado el cuerpo, se piensa en la manera de mantenerlos unidos, para ello se realizan dos agujeros en las tapas laterales donde se introducen unos tornillos con una tuerca de palomilla que los mantenga perfectamente unidos. El agujero tiene forma de rectángulo y es un poco más grande que el diámetro del tornillo, para absorber las desviaciones del agujero del yeso donde va insertado el cuerpo.

Una vez que se colocan los distintos tramos de luminaria se observa que los tornillos que sujetan la chapa trasera hacen interferencia con el cuerpo, por lo que se realizan unos agujeros en el cuerpo de chapa donde coincidan los tornillos.

Puesto que los distintos tramos de luminarias deben estar perfectamente unidos para la continuidad óptica, a los extremos del cuerpo de chapa se le incorpora dos pequeños taladros donde irán alojadas las cabezas de dos tornillos de allen que van roscados al perfil de chapa del extremo de la luminaria y que evita que la luminaria se desplace a lo largo de los cuerpos de chapa.

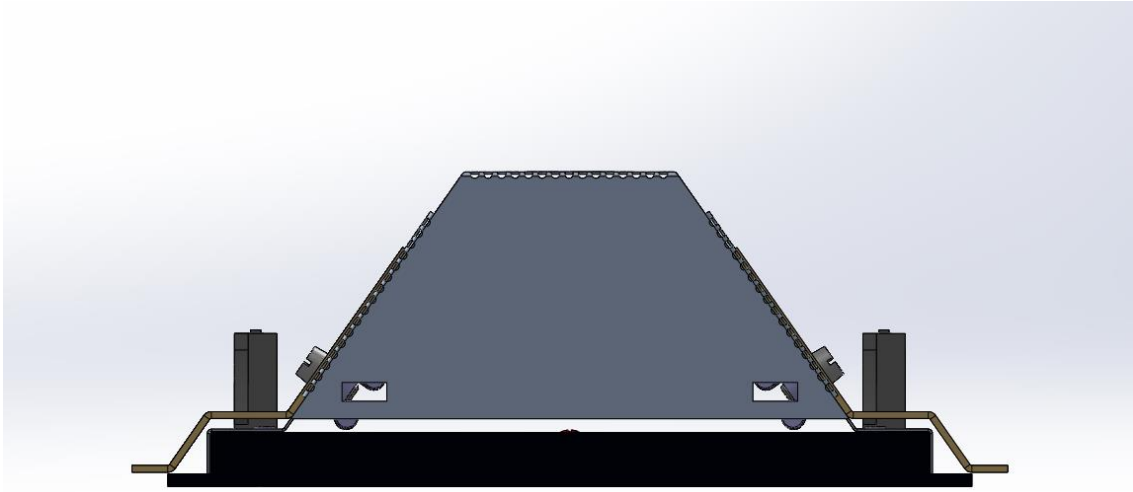


Figura 118 Vista lateral del conjunto

Puesto que los enganches del cuerpo al techo no deben impedir que se introduzca el cuerpo de chapa en el hueco del yeso, se deciden hacer los laterales del mismo con un ángulo de tal forma que cuando los enganches que sujetan el cuerpo se encuentren posicionados en la parte superior de la ranura que los alberga, no dificulten colocar el conjunto.

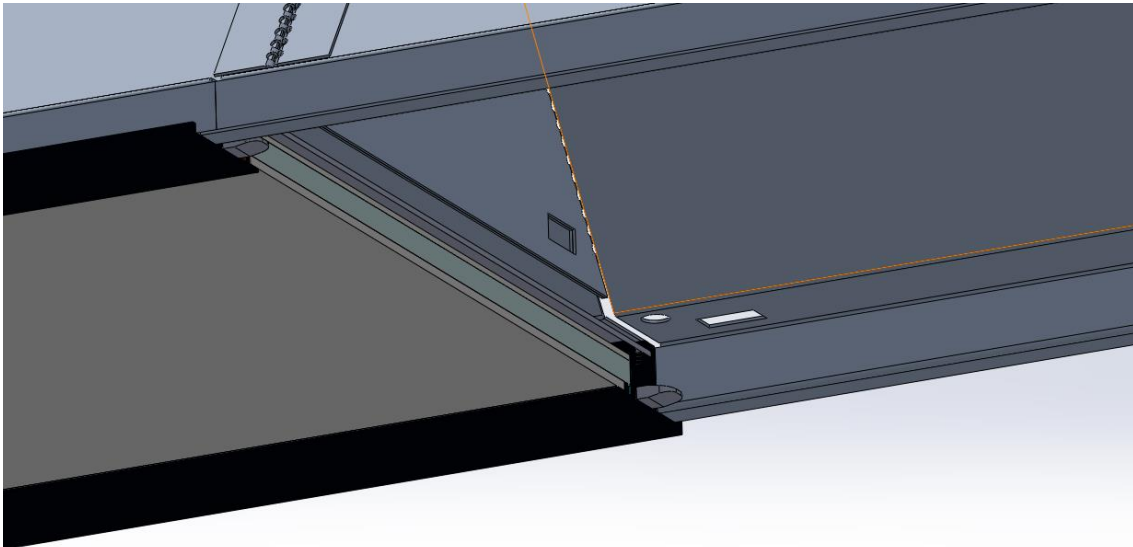
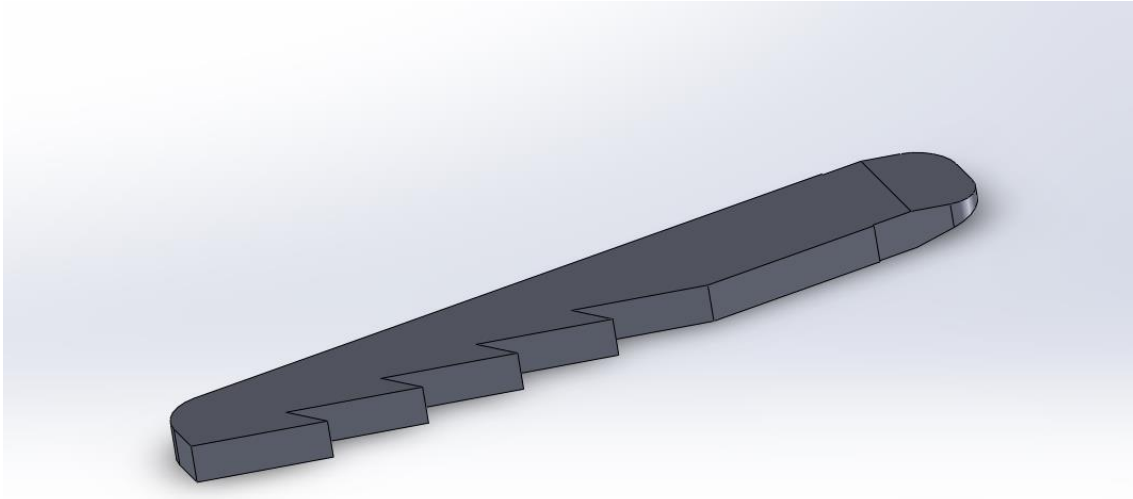


Figura 119 Detalle inferior de la unión entre módulos

Como se dijo anteriormente, los distintos tramos de luminarias deben estar perfectamente unidos y alineados. Puesto que los imanes y los cuerpos de chapa no centran las luminarias perfectamente, se crea una pieza dentada por un extremo y con un ángulo de salida por otro que permite montar y alinear los distintos tramos de luminaria de forma sencilla.



**Figura 120** Pieza unión

El diseño de esta pieza está pensado para introducirla a presión en el perfil, de manera que se claven los dientes y quede encajada. En el otro extremo el ancho de la pieza es una décima más estrecha que el hueco del perfil, ya que debe poder introducirse el otro tramo de luminaria sin realizar ninguna fuerza. El extremo está redondeado y achaflanado para facilitar el montaje de las mismas.

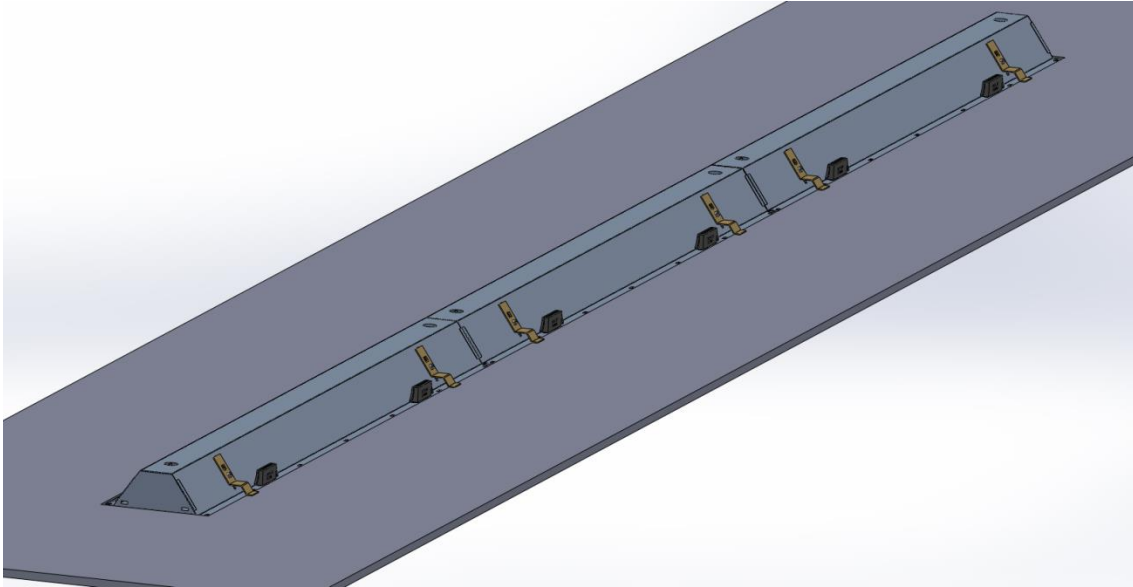


Figura 121 Luminarias en techo de yeso

En la figura anterior se muestra la parte superior de un conjunto de tres luminarias, inicio, intermedia y fin, y cómo quedaría montado en un techo. Los drivers irían instalados en el interior de cada cuerpo de chapa en el caso de llevar uno por cada módulo, o fuera del conjunto en el caso de tener un driver común para varias luminarias.

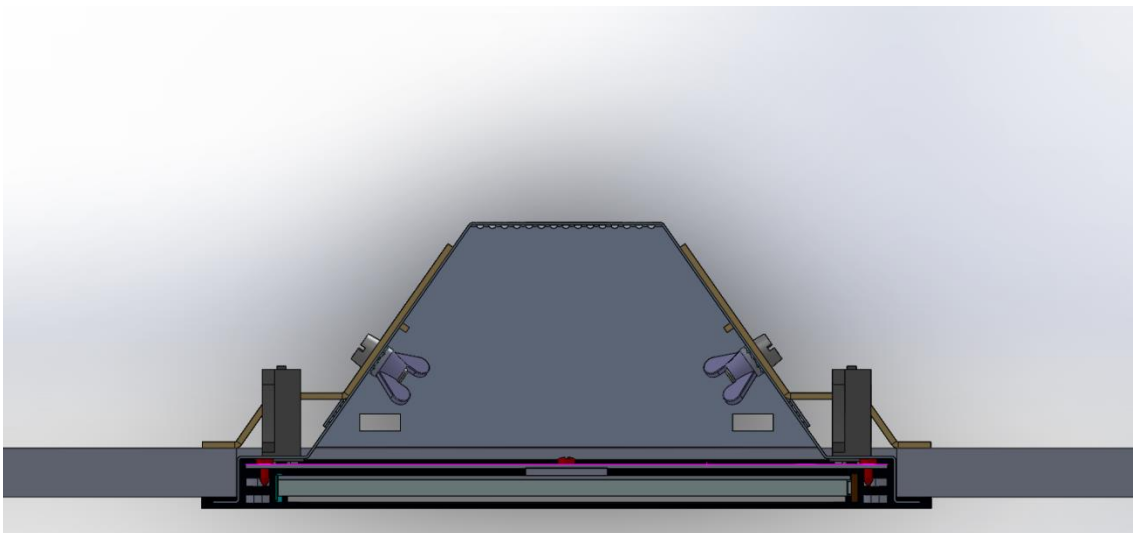


Figura 122 Sección luminaria en techo de yeso



En la figura 122 se muestra la luminaria montada en un falso techo de yeso donde se ve cómo actúa el sistema de sujeción del cuerpo de chapa y el de los imanes.

## Capítulo 5. Cálculos.

Una vez realizado el prototipo se somete la luminaria a diferentes ensayos tanto térmicos como fotométricos que determinarán los parámetros que caracterizan y que definen a esta luminaria.

### 5.1 Ensayo fotométrico.

Para determinar la distribución del haz de luz proyectada por la luminaria en los distintos planos se realizará un ensayo fotométrico. Estos cálculos nos muestran tanto la distribución del haz de luz, como la intensidad lumínica a lo largo de esa distribución expresada en  $\text{cd/Klm}$ .

Este ensayo se realiza en una sala completamente a oscuras dotada de un péndulo en el que se coloca la luminaria. Dicha sala tiene las paredes pintadas de negro y un receptor fotométrico externo que mide la distribución del haz de luz proyectada por la luminaria al mismo tiempo que va oscilando al ritmo del péndulo desde los planos C0 hasta el C90.

Los datos fotométricos obtenidos en esta luminaria para los planos C0 y C90 son los siguientes.

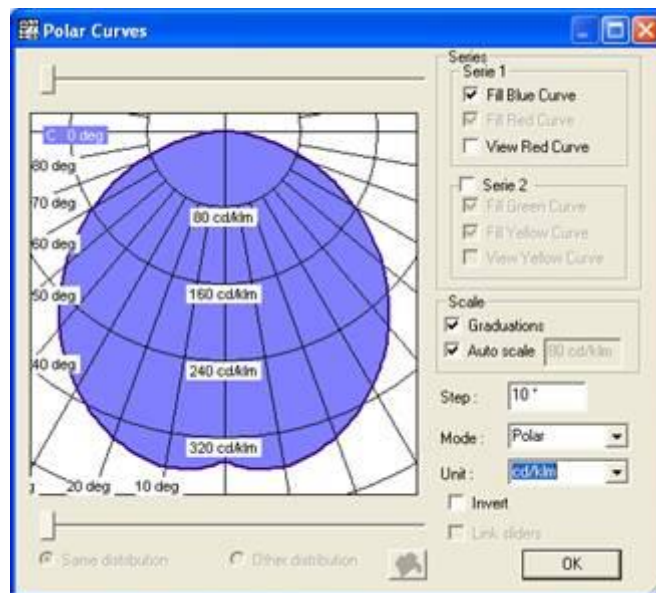


Figura 123 Ensayo fotométrico luminaria

Como se puede observar en la figura anterior, la luz se proyecta desde el difusor de forma extensiva hasta una intensidad lumínica de 360 cd/klm aproximadamente.

Teniendo en cuenta que la luminaria tiene dos placas de 48 LEDs cada una y que cada LED emite un flujo de luz de 39lm a 25°C alimentado a una intensidad de 125mA, el flujo que debería dar la luminaria sería de 3744lm.

A continuación se muestra un estudio del flujo que da la luminaria en condiciones reales.

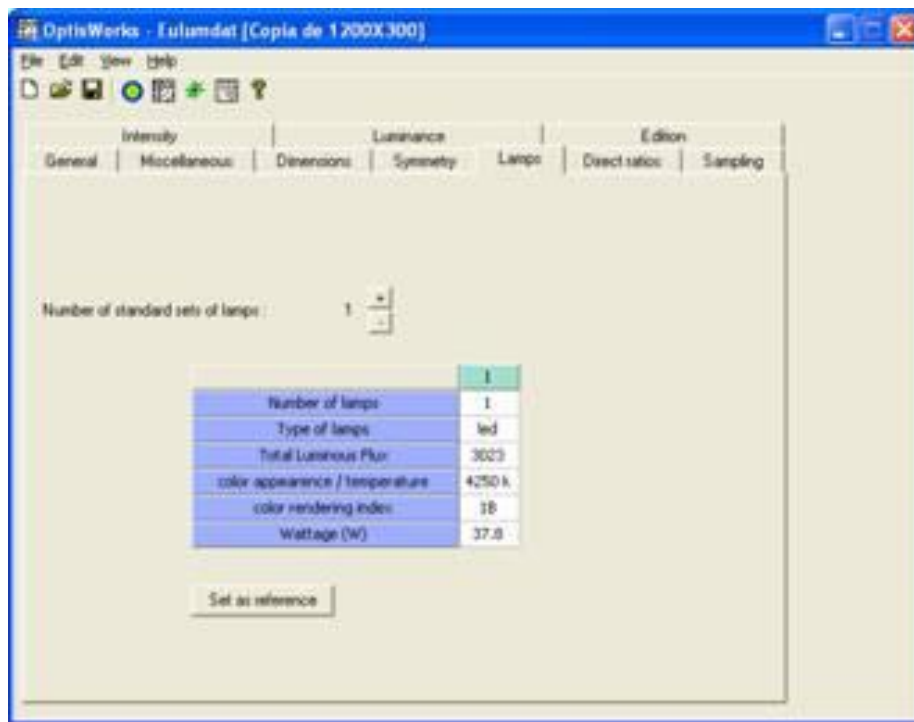
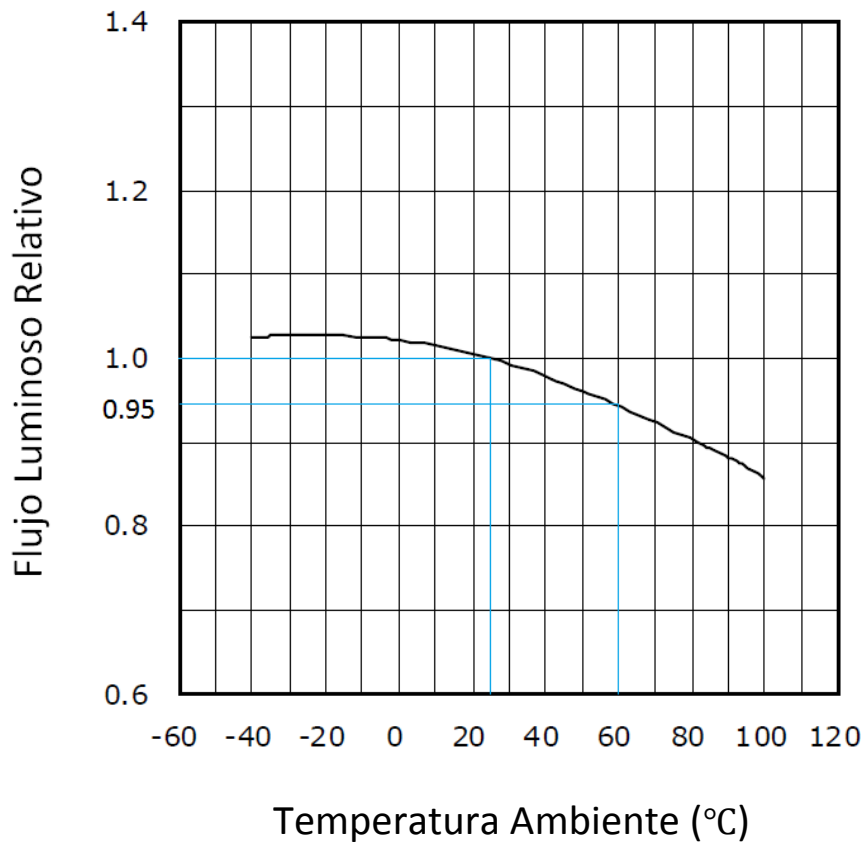


Figura 124 Flujo total de la luminaria

Como se puede observar en la figura 124, el flujo en estas condiciones de trabajo es de 3023lm, menor que el teórico.

Esto se debe a diversos factores. Los LEDs pierden flujo a medida que aumenta la temperatura de trabajo. Puesto que el LED en esta luminaria trabaja a 60°C, el flujo cae un 5%.

## Temperatura Frente a Flujo Luminoso



Gráfica 1 Caída del flujo relativo del LED en función de la temperatura

Otro motivo por el que el flujo es menor que el teórico es por las pérdidas por óptica: Del ultrablanco, del difusor y del metacrilato serigrafiado, siendo éstas de un 15%.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que la luminaria tiene un flujo real de 3023lm con un consumo de 37.8W, se determina que la eficiencia de la luminaria es de 80lm/W.

Este rendimiento es muy superior a las lámpara de incandescencia, las halógenas y las de mercurio de alta presión, las cuales poseen un rendimiento luminoso aproximado de 15lm/w, 25lm/w, y 60lm/w respectivamente.

### 5.2 Ensayos térmicos.

Se realizarán dos tipos de ensayos térmicos, uno mediante un termopar colocado en el punto crítico de la placa ( $T_c$ ), determinado por el fabricante, y otro ensayo virtual mediante el módulo de Solidworks Flowsimulation.

### 5.2.1 Simulación térmica.

A falta de un prototipo real para realizar cálculos térmicos, se hace uso de la herramienta de Solidworks (flowsimulation) para obtener unos valores orientativos sobre las temperaturas de los componentes.

Mediante la simulación térmica de la luminaria se obtiene unos valores aproximados sobre la temperatura que alcanzan los componentes del conjunto, dichos cálculos ayudarán a tomar las decisiones acerca de la intensidad de la corriente a la que se pueden alimentar las placas sin sobrepasar la temperatura crítica, el rendimiento de las mismas y el tipo de material del que deben estar compuestas las piezas de la luminaria para su correcto funcionamiento trabajando bajo dichas condiciones [12].

Una vez que se tiene el ensamblaje dibujado es necesario definir los parámetros de Solidworks:

- Sistema de unidades utilizado. En este caso se utiliza el sistema internacional, excepto las longitudes, expresado en mm.

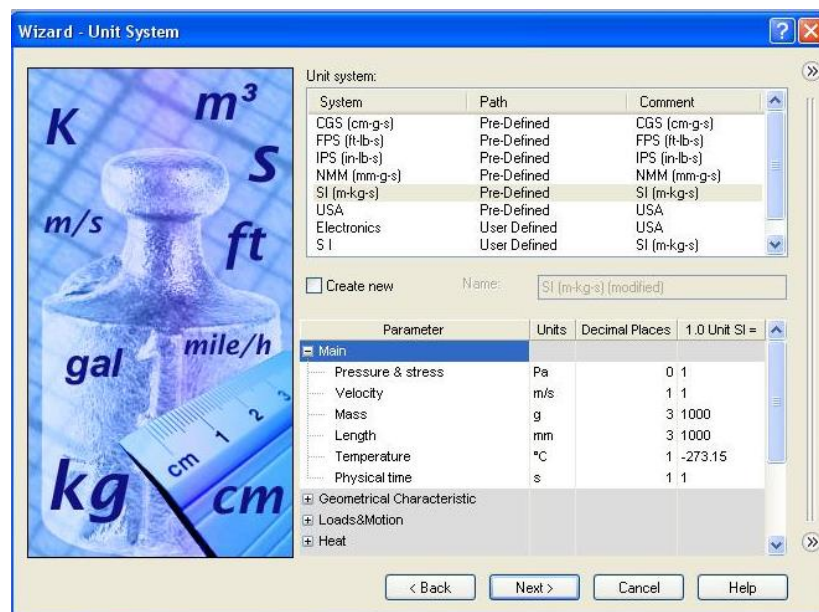


Figura 125 Paso 1

- Solidworks tiene la opción de realizar dos tipos de análisis, uno para estudiar el flujo externo a la luminaria y otro para el interno. Puesto que esta luminaria no tiene prácticamente cavidades internas y el flujo en el interior es nulo, se selecciona el externo. Esta opción calcula el comportamiento del flujo debido a la convección natural que se da en el exterior de la luminaria.

El programa da la opción de despreciar las cavidades internas que no interese calcular con el fin de aligerar los cálculos y disminuir el tiempo de iteraciones. Otras opciones que da es el estudio del flujo de calor a través de las piezas, la radiación si existiese, el tiempo y la gravedad.

Para este caso se selecciona el flujo externo, transferencia de calor por conducción en los cuerpos y la gravedad, puesto que es convección natural.

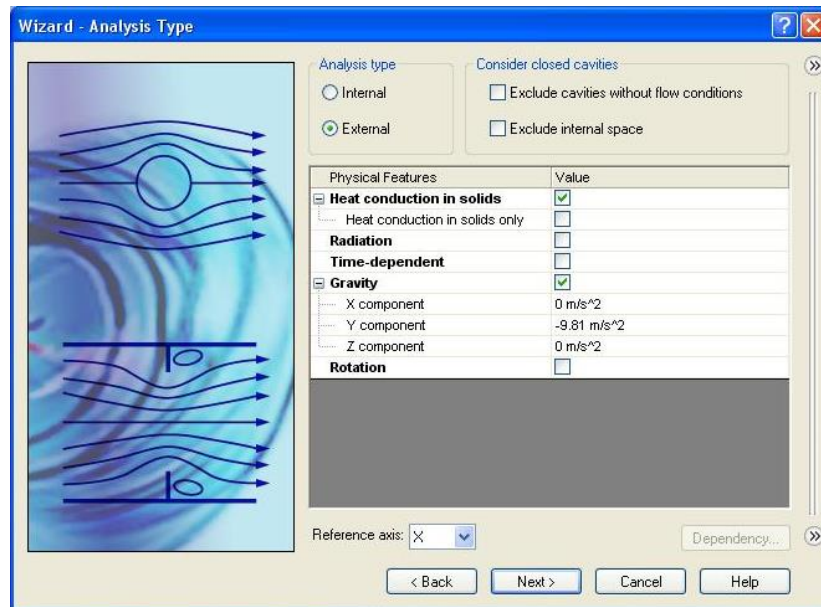


Figura 126 Paso 2

- En este apartado se selecciona el tipo de fluido o gas que se estudia. Solidworks posee una serie de fluidos provistos de los parámetros característicos. También da la opción de realizar el estudio como flujo laminar, turbulento o mixto, y de establecer la humedad relativa del gas.

Para este estudio se ha seleccionado el aire como fluido y laminar y turbulento como forma de convección. Puesto que la luminaria se puede instalar en cualquier ambiente se ha desestimado poner la humedad relativa.

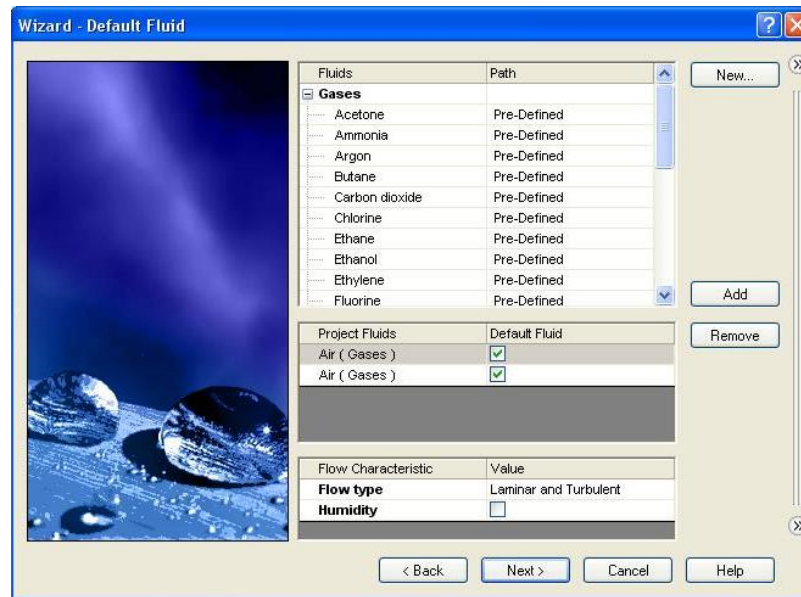


Figura 127 Paso 3

- Se selecciona el material por defecto del que está compuesta la luminaria. Puesto que el material predominante es el aluminio, se elegirá éste como material por defecto.

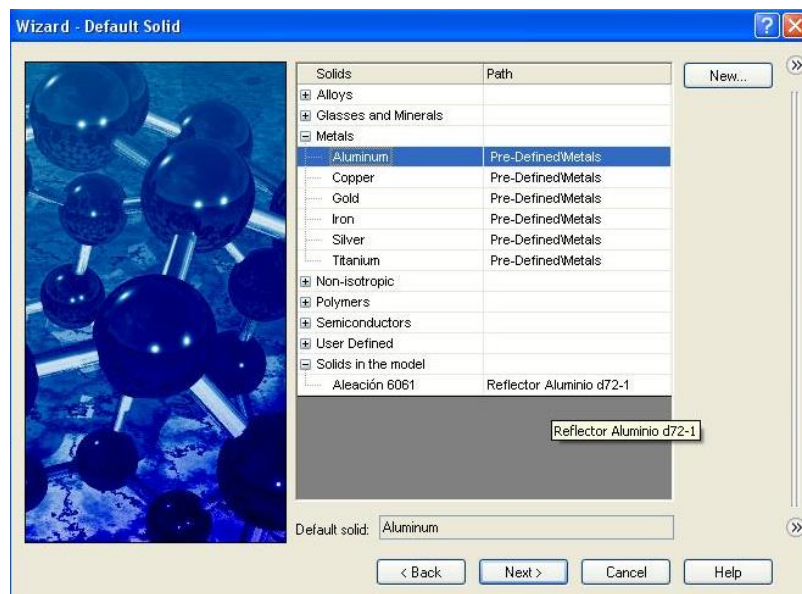


Figura 128 Paso 4

- En este apartado se elige la rugosidad de las paredes del sólido en contacto con el aire y con el resto de componentes, en el caso de que se haya seleccionado la opción de transferencia de calor por conducción entre los componentes. Además da la opción de

establecer un coeficiente de conducción de calor por convección para la cara del sólido y el fluido. En este caso no se ha determinado ningún coeficiente.

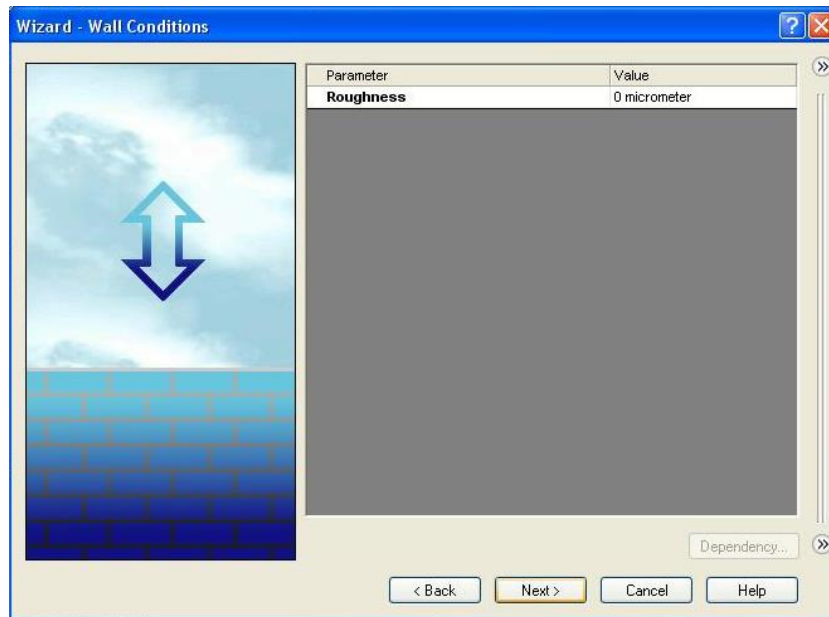


Figura 129 Paso 5

- En este apartado se determinan las condiciones iniciales del fluido. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE, aprobado por el Real Decreto 1027/2007) determina que la temperatura máxima permitida en temporada de calefacción es de 21 °C y en temporada de refrigeración de 25 °C. Se elige 25 °C como temperatura inicial del fluido puesto que es la temperatura más restrictiva. Puesto que la convección es natural y se supone que no hay corriente alrededor de la luminaria, se elige una velocidad inicial del fluido de 0 m/s. La condición de presión del ambiente se supone 1 atm.



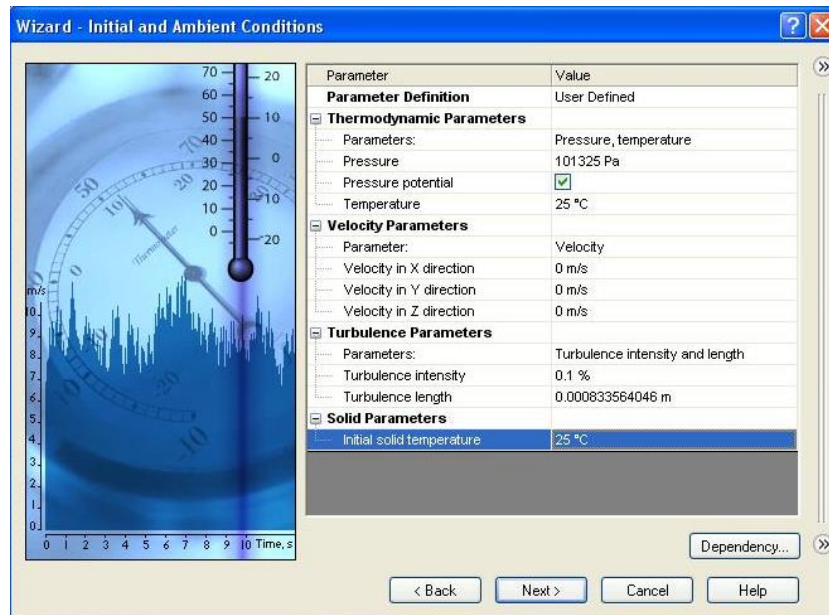


Figura 130 Paso 6

- En este apartado se elige la precisión del mallado, cuanto más fino sea más tiempo se tardará en calcularlo, pero más preciso será la solución.

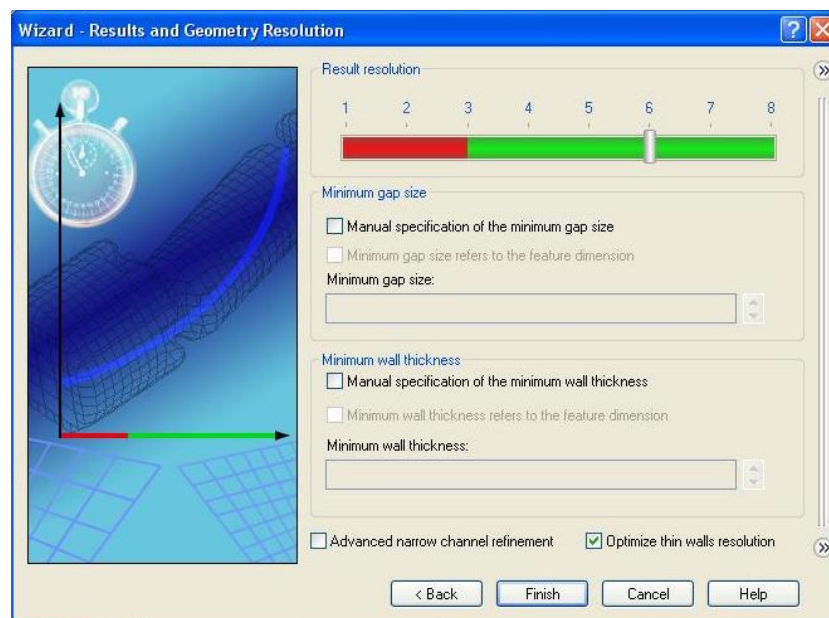
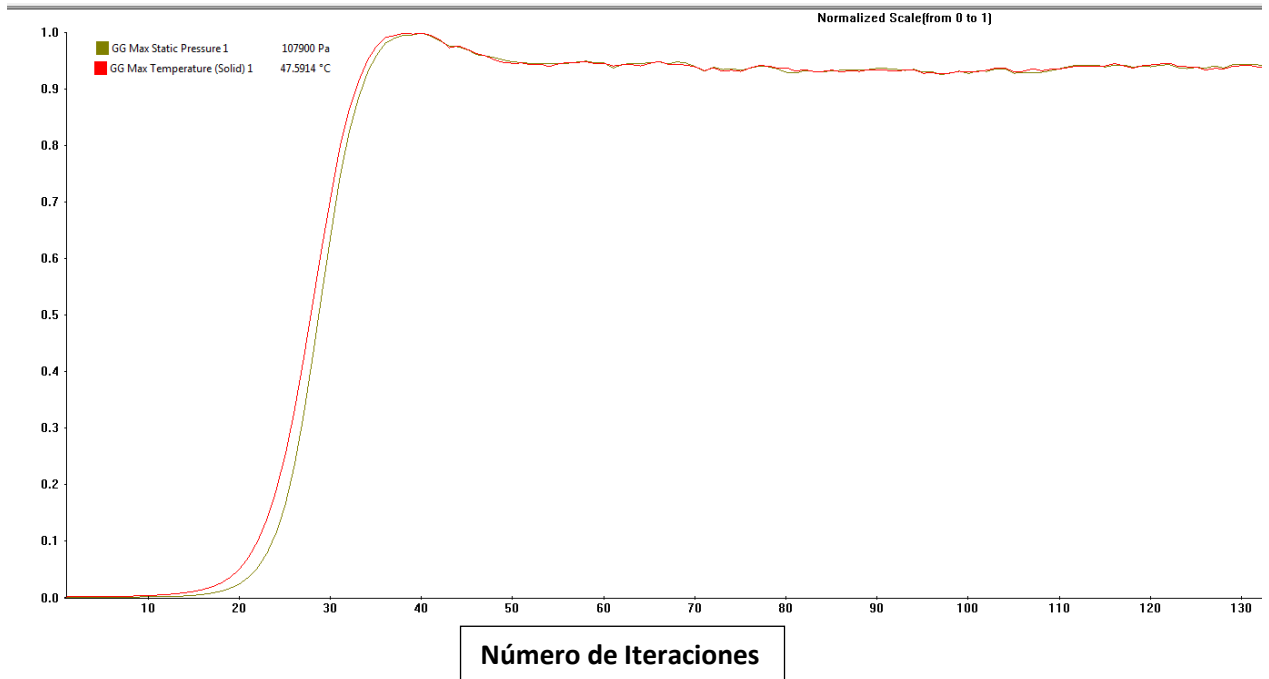


Figura 131 Paso 7

- Una vez establecidas las condiciones iniciales de trabajo se determina la potencia de la fuente de calor, en este caso de las dos tiras LED. Para estos LEDs la potencia térmica

es el 75% de la total consumida. Es decir que el 75% de la potencia se transforma en calor. Puesto que alimentadas a 500mA consumen 37,8W, 28,35W se transforman en calor.



Gráfica 2 Convergencia de los resultados

Una vez que las temperaturas se estabilizan y convergen al mismo valor, se para de iterar y se muestran los diferentes resultados tanto de temperatura del sólido como del fluido

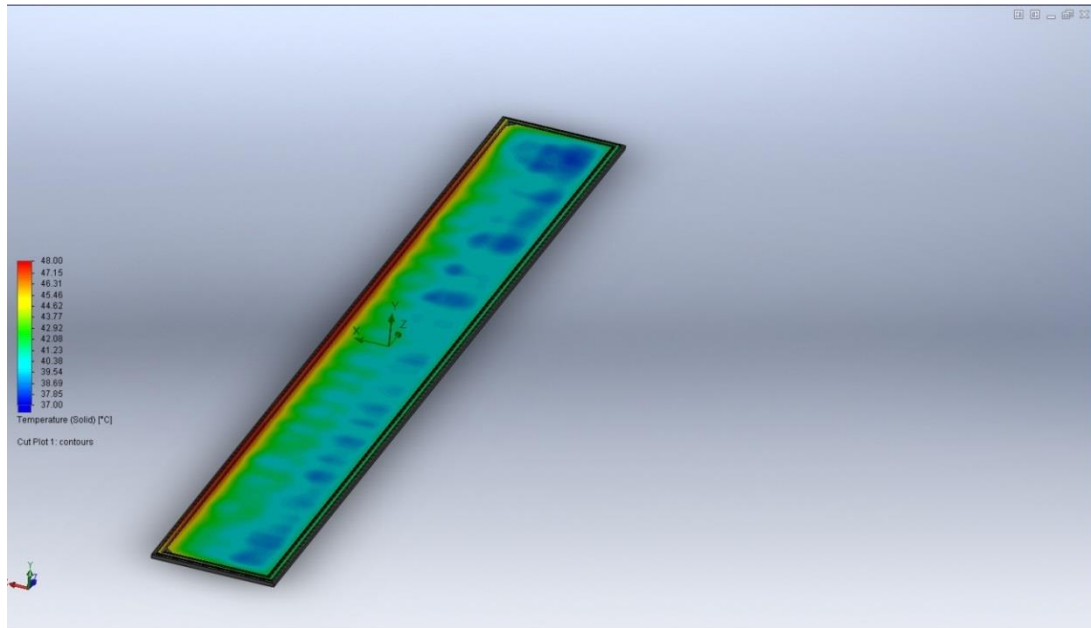


Figura 132 Vista de la temperatura de la luminaria

Como se puede apreciar, la zona de la luminaria donde más temperatura hay es el perfil de aluminio donde se encuentran los LEDs, siendo máxima en el medio de cada placa.

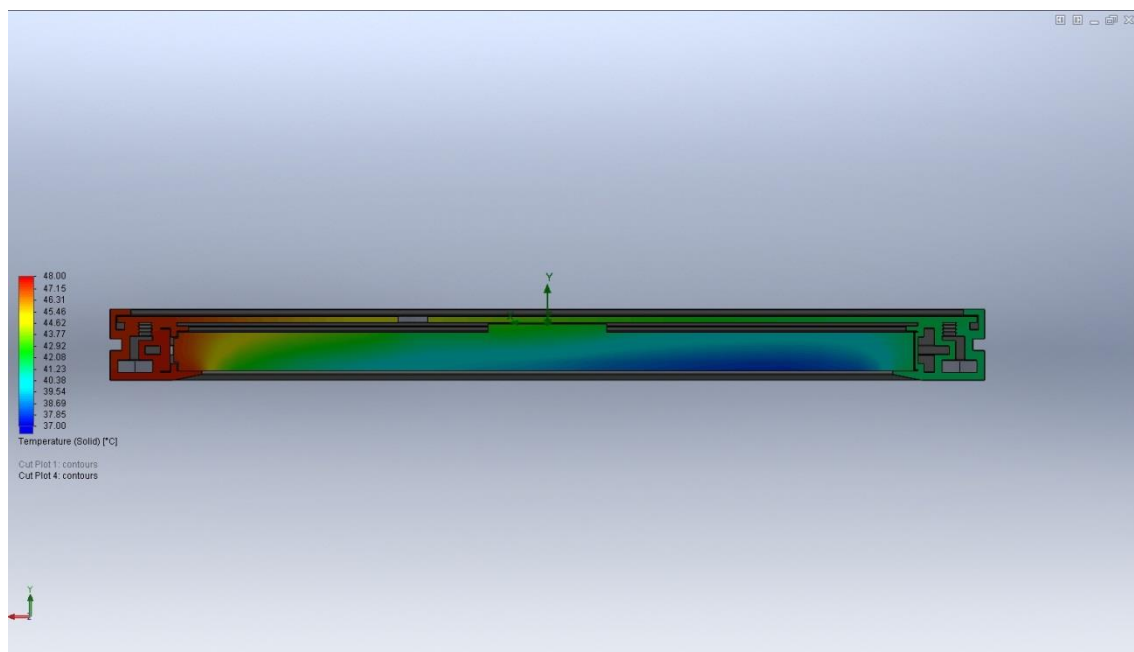


Figura 133 Vista frontal de la temperatura de la luminaria

Tras haberse realizado los primeros análisis en el sólido 3D se puede valorar que el punto crítico de la luminaria está en torno a 48 grados en la zona del perfil donde se encuentran los LEDs, un valor bastante alejado del máximo, lo que nos da un diferencial muy apropiado para disipar la potencia calorífica emitida por la placa.

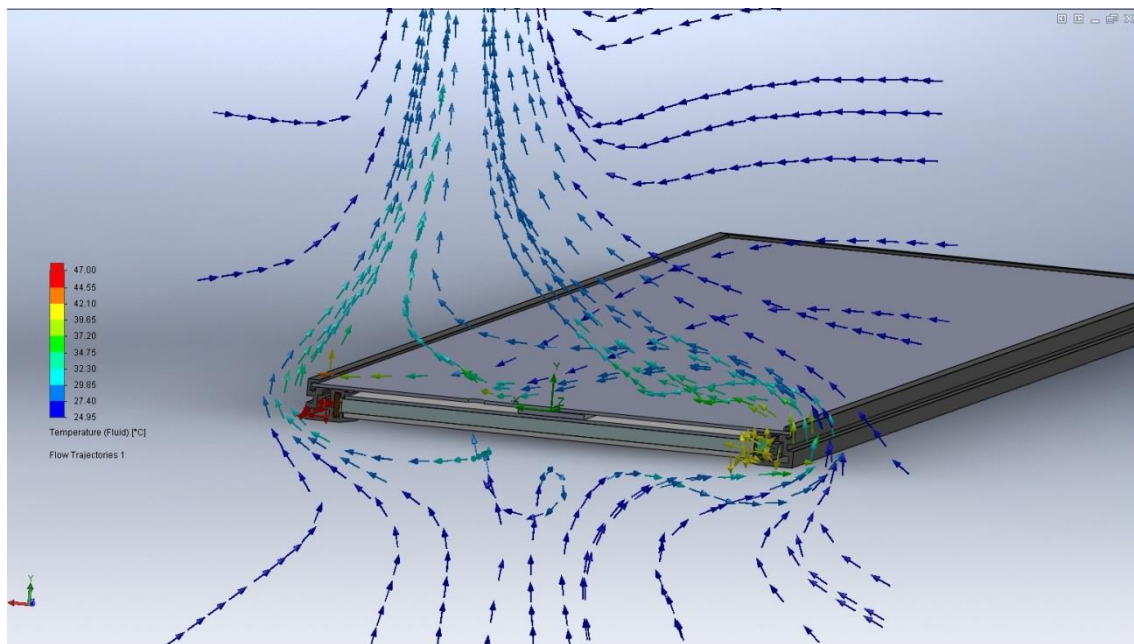


Figura 134 Vista de la temperatura del fluido

En la figura 135 se puede observar como el aire se va calentando desde la superficie inferior del difusor a medida que va subiendo y pasando por el perfil de la luminaria, convergiendo en una corriente ascendente de aire caliente en la parte superior de la misma.

Como se aprecia, el flujo del aire es laminar, esto se debe, entre otros factores, a que la velocidad del fluido y la viscosidad son bajas, y el sólido no es muy rugoso. Por lo que se disipa un poco menos que si fuera turbulento.

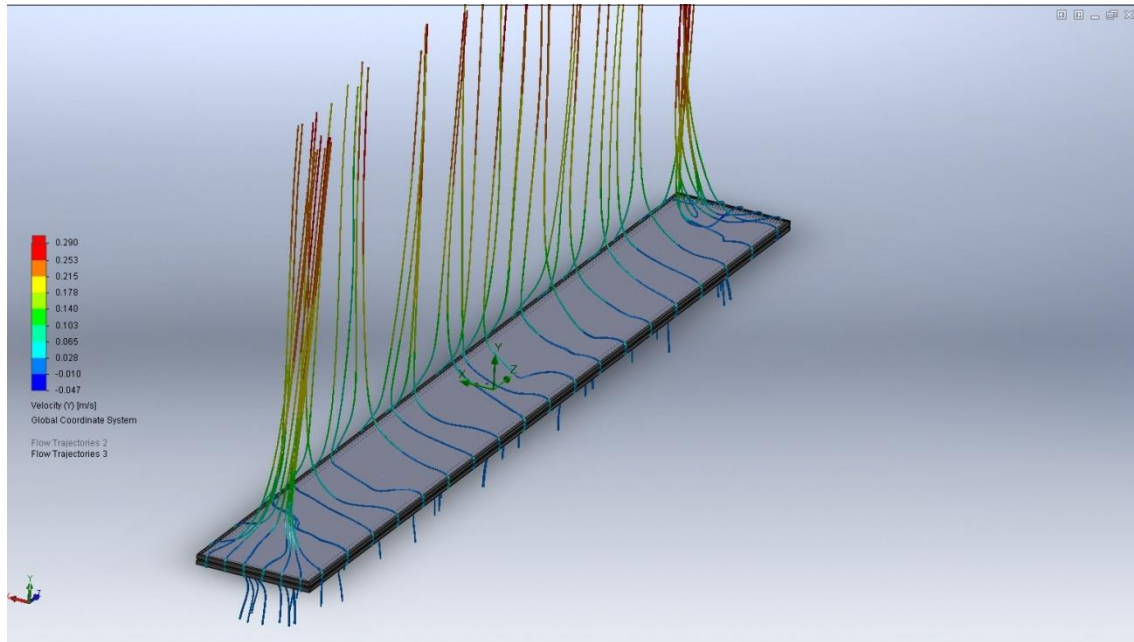
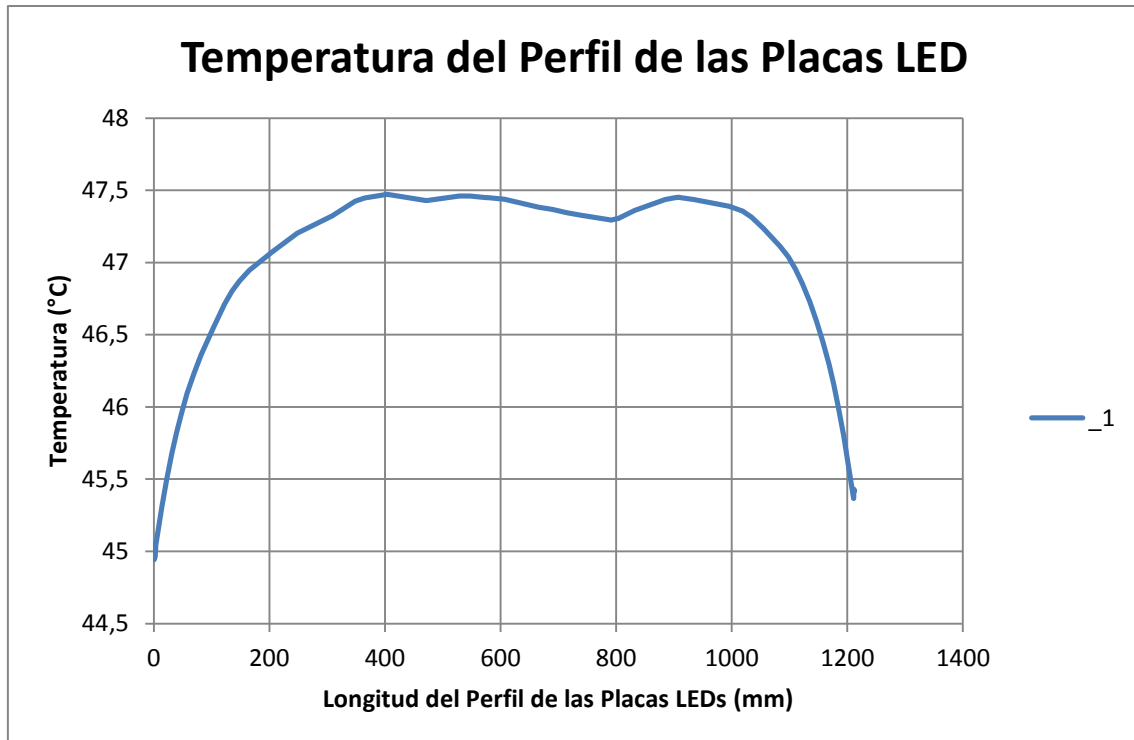


Figura 135 Vista de las corrientes de aire

Como muestra la figura 135, a causa de la diferencia de densidades del fluido, a medida que se va calentando por el contacto del aire con el perfil y demás componentes de la luminaria, se crea una corriente del fluido ascendente que va desde la parte inferior de la luminaria con aire a temperatura ambiente, y que roba calor al perfil según pasa por el mismo. Esto provoca que los LEDs no alcancen la temperatura crítica.

En la figura superior se observa que la máxima velocidad se encuentra en los extremos de la luminaria, puesto que es donde más líneas de flujo convergen, teniendo un valor máximo de aproximadamente  $0,29\text{m/s}^2$ .



Gráfica 3 Temperatura del perfil de las placas LEDs

Como se aprecia en la gráfica anterior, los puntos de las placas sometidos a mayor temperatura se encuentran en la mitad de cada tira de LEDs, siendo este valor de aproximadamente 47,4°C.

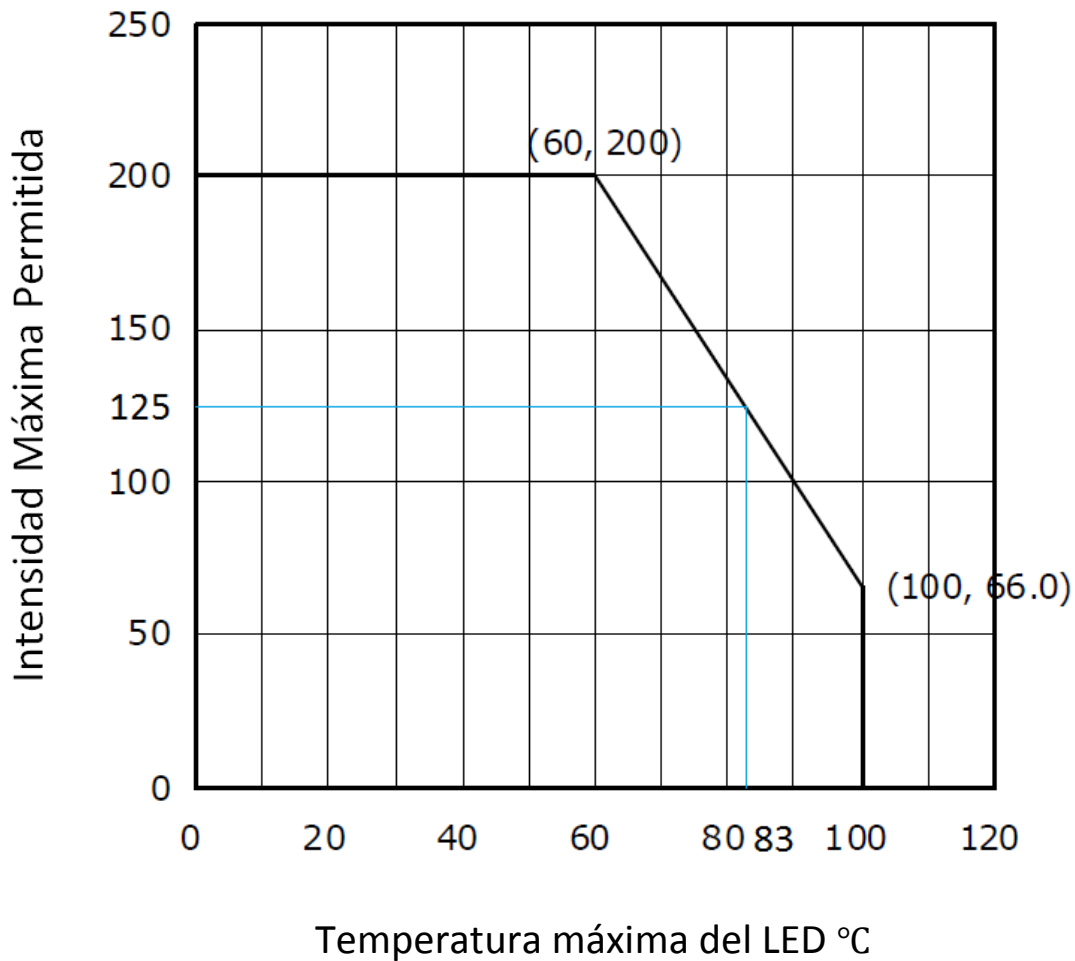
Puesto que la temperatura máxima que aguantan los LEDs alimentados a 125mA es de 83°C, hay un margen bastante amplio para que aumente la temperatura de las placas por cualquier factor ambiental sin llegar a la temperatura crítica.

### 5.2.2 Ensayo térmico real.

Para comprobar que la temperatura del punto crítico de la placa marcado por el fabricante no sobrepasa la temperatura máxima, se realiza por parte del laboratorio un ensayo térmico que mide la temperatura una vez que los LEDs han alcanzado un estado estacionario.

En esta placa el fabricante determina que la temperatura máxima de funcionamiento es 100 °C, Y que la temperatura máxima a la que pueden estar los LEDs para asegurar su funcionamiento a 125mA es de unos 83 °C según la gráfica siguiente.

### Temperatura Máxima del LED en Función de la Intensidad de Corriente



Gráfica 4 Temperatura máxima del LED en función de la intensidad de corriente

Para la realización de este ensayo, la luminaria se instala en una tabla negra que simula un falso techo y se introduce en una sala negra, para simular las condiciones de trabajo a las que estará sometida la luminaria. Esto se realiza de acuerdo a la norma de las pruebas de calentamiento de las luminarias (UNE-EN 60.598).

La forma en que se mide la temperatura es colocando un termopar en el  $T_c$  definido por el fabricante y sometiendo la luminaria a la intensidad deseada hasta que la temperatura se estabiliza. A continuación se realiza un informe con los datos obtenidos.

Una vez realizado el ensayo, la luminaria se desengancha de la tabla y se toman unas fotos mediante una cámara térmica o infrarroja para determinar la temperatura a la que se encuentran los diferentes elementos.



Figura 136 Ensayo térmico

Los datos obtenidos por el ensayo son los siguientes:

Magnitud Medida	Resultado Medición
Tensión de Red	230V
Consumo de Corriente	0,1015A
Potencia del circuito (Incluyendo el driver)	39.7W
Temperatura Ambiente Final	24,7°C
Temperatura en Tc	75,2°C
Factor de Potencia	0,6 Cos( $\alpha$ )

Tabla 18 Resultados ensayo térmico



Como se puede observar la temperatura del punto crítico de la placa es de 75,2°C, muy superior a la que da la simulación térmica. Esto se debe a que el prototipo donde se ha realizado el ensayo tiene en los extremos el perfil con las dimensiones reales, pero de plástico, y un ángulo de chapa en el medio que no está en contacto con la placa, por lo que ésta no disipa tanto calor como lo haría en el caso de estar montada en un perfil de aluminio donde encajara correctamente.

Se realizaron además unas fotos térmicas a la luminaria con la cámara de infrarrojos.



Figura 137 Foto térmica

## Capítulo 6. Análisis Económico.

Para garantizar el éxito de una luminaria es imprescindible realizar un análisis económico para evaluar la inversión que supone instalarla, en comparación con un modelo similar de tecnología convencional.

Para realizar el estudio se eligen dos luminarias, la del presente proyecto y una con características lumínicas similares.

Una decisión errónea a la hora de apostar e invertir por un proyecto conlleva la absorción de una gran cantidad de tesorería, y por consiguiente tener consecuencias a largo plazo negativas. Por este motivo la inversión debe ser recuperada en un máximo de tres o cuatro años [13].

Para realizar este análisis se eligen los siguientes métodos para el cálculo de las amortizaciones e inversiones:

- Pay – back.
- TIR.
- ROI.

### 6.1 Pay- back.

El Pay – back, también conocido como periodo medio de maduración, es un método que tiene las empresas para calcular el tiempo aproximado que se tarda en recuperar una inversión inicial.

Este método al igual que los otros de selección estáticos no tiene en cuenta el valor de los flujos de caja ni de los últimos años ni del actual. Esto hace de dicho método que no sea lo suficientemente completo como para decidir si apostar por el proyecto o no.

Para calcular en análisis del Pay – back se suman los costes del proyecto sin considerar ningún coeficiente de descuento y se ve cuando se igualan los ingresos que supone dicha instalación a la inversión inicial.

### 6.2 Tir.

El TIR o Tasa Interna de Rentabilidad expresa la tasa de descuento que hace que el VAN (Valor Actual Neto) sea cero.

El TIR determina que se deben aceptar aquellos proyectos que ofrezcan una tasa de rentabilidad superior al coste de oportunidad del capital.

Para calcular el TIR se realizan aproximaciones sucesivas para establecer el VAN cero una vez que se conocen los flujos de caja del proyecto durante la duración prevista del mismo. Se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$C_0 + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1 + TIR)^i} = VAN = 0$$

donde,

- $C_0$ , es la inversión inicial.
- $N$ , es el número de años estimados para amortizar la inversión.
- $C_i$ , es el flujo de caja anual.

### 6.3 ROI.

El ROI (Return Over Investment) es una razón financiera que compara el beneficio o la utilidad obtenida en relación a la inversión realizada. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$ROI = \text{Margen sobre ventas} \cdot \text{Rotación del activo} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Ventas}} \cdot \frac{\text{Ventas}}{\text{Activo Total}};$$

$$ROI = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Activo Total}}$$

### 6.4 Análisis Económico.

Para el análisis económico se realizará una oficina piloto con 25 de las luminarias diseñadas y se compararán los resultados con las luminarias lumínicamente equivalentes de fluorescencia OD-3290 de 54W. Dicha luminaria tiene 4 tubos de fluorescencia lineal T5 y una eficiencia de 50%. Teniendo en cuenta que cada tubo de fluorescencia produce 1230lm, que la luminaria lleva 4 y que tiene una eficiencia del 50%, cada luminaria emite 2460lm.

Puesto que la luminaria diseñada produce 3023lm y la oficina piloto tiene 25 luminarias, la sala está iluminada con 75575lm. Para conseguir una cantidad de luz similar con la luminaria OD-3290, que emiten 2460lm, serán necesarias 31 luminarias para conseguir iluminar la oficina con 76260lm.

Las dimensiones de la oficina son las siguientes:

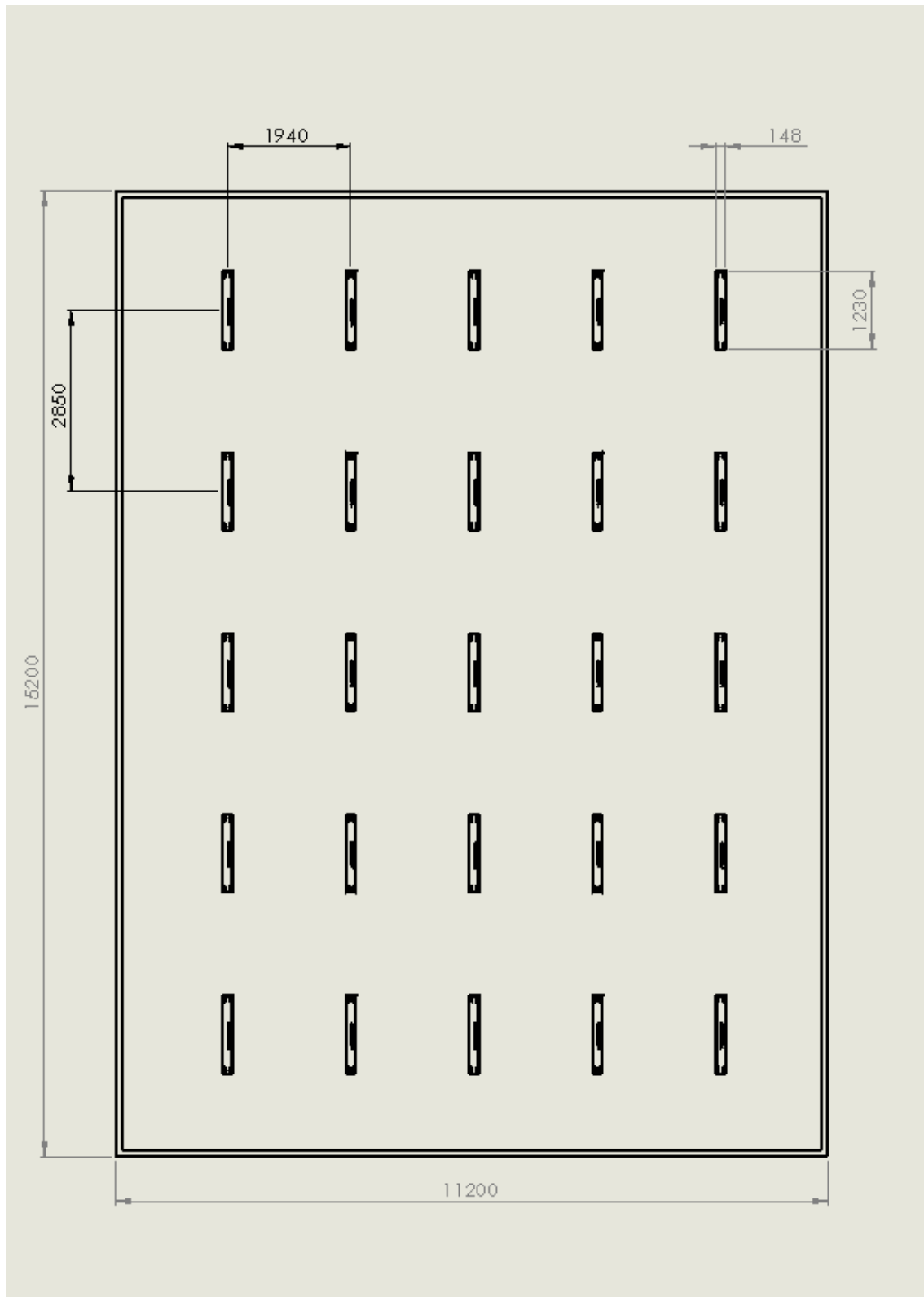


Figura 138 Oficina Piloto de 170m2

Para empezar el estudio económico se calcula el coste de la inversión inicial.

Modelo de Luminaria	Instalaciones de la Oficina	
	OD-3290 54W	Luminaria LED
<b>LUMINARIAS</b>		
Nº de luminarias	31	25
Coste unitario de la luminaria incluidas las lámparas	87 €	136 €
Lámparas por luminaria	4	-
Coste de la lámpara	3,95 €	-
Vida útil de la fuente de luz (h)	17000	50000
Consumo total (W)	54	37,8
Inversión Inicial Total	2.697 €	3.400 €

Tabla 19 Comparación coste inicial

En la tabla anterior se muestra la inversión inicial que se necesita para iluminar una oficina con una luminaria LED en comparación con una instalación de luminarias de tecnología convencional.

Según los datos de uso diario de las luminarias en oficinas estimado, se puede obtener el total de horas al año que una luminaria está encendida.

Tiempo de funcionamiento de la Instalación		
Horas por día	12	Total Horas al año
Días por Semana	5	
Semanas / año	52	
Periodo de vida útil luminaria (años)	16	

Tabla 20 Utilización instalación

Sabiendo que el horario de trabajo en una oficina es de 12 horas teniendo en cuenta los turnos de limpieza, que el horario lectivo es de 5 días por semana y que la oficina permanece abierta 52 semanas, sale que la vida útil de la luminaria es de 16 años.

Para calcular el retorno de la inversión es necesario considerar que el caso de la luminaria LED no precisa de mantenimiento y que el consumo es mucho menor, por lo que se deberán tener en cuenta los siguientes datos:

COSTES DE EXPLOTACIÓN		
	OD-3290 54W	Luminaria LED
Coste / kWh (S/ T.U.R. 0,150938 €/kWmes)	0,15 €	-
Tiempo de reemplazo de lámparas (minutos)	12	-
Tarifa mantenimiento/hora (€/h)	25 €	-
Personal necesario	1	-
Coste equipamiento adicional	-	-

Tabla 21 Costes por explotación

COSTES MANTENIMIENTO (referido a la vida útil del producto)		
	OD-3290 54W	Luminaria LED
Nº de cambio de lámparas	3	-
Costes reposición lámparas	1.441 €	-
Coste mano de obra reposición lámparas	456 €	-
Costes equipamiento adicionales	-	-
Total	1.896 €	-
Total coste por año	118 €	-

Tabla 22 Costes de mantenimiento

En esta parte se tiene en cuenta el precio del mantenimiento que ocasiona el reemplazo de una lámpara en tecnología convencional, así como el coste de mano de obra asociado a dicho mantenimiento, que por el contrario es inexistente en el LED.

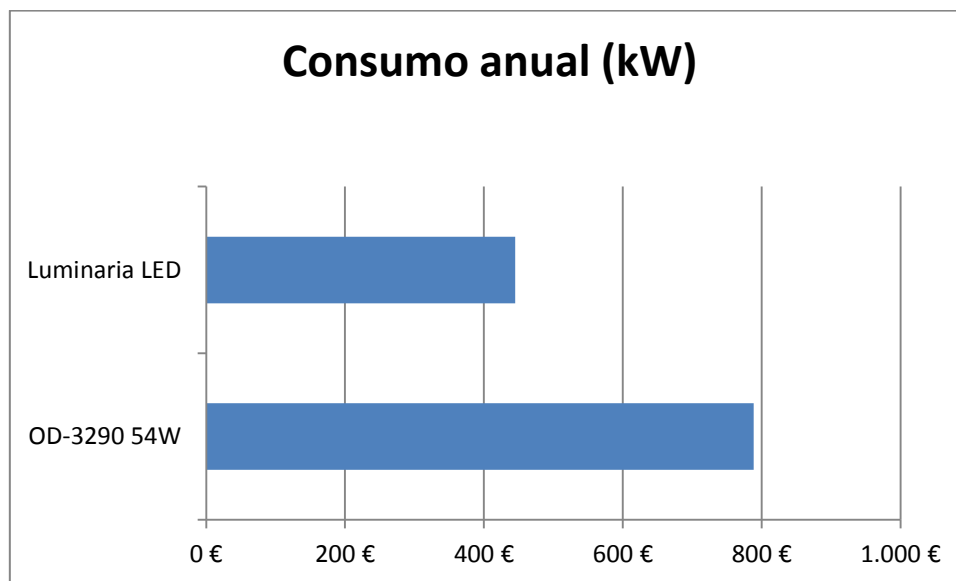
Un punto muy importante a tener en cuenta a la hora de la realización del estudio económico es el consumo de energía que muestra la siguiente tabla.

COSTES ENERGÉTICOS		
	OD-3290 54W	Luminaria LED
Consumo anual (kWh)	5223	2948

<b>Consumo total en la vida de las luminarias (kWh)</b>	<b>83700</b>	<b>47250</b>
<b>Coste total en periodod de vida del producto</b>	<b>12.634 €</b>	<b>7.132 €</b>
<b>Coste total por año</b>	<b>788 €</b>	<b>445 €</b>

Tabla 23 Coste recursos energéticos convencional frente a LED

El siguiente gráfico muestra el consumo eléctrico anual de ambas instalaciones.



Gráfica 5 Gráfico comparación consumo anual kW

<b>AHORROS ENERGÉTICOS Y DE MANTENIMIENTO</b>	
<b>Ahorro de Mantenimiento en Total de Vida del Producto</b>	<b>1.896 €</b>
<b>Ahorro Energético en Total de la Vida del Producto</b>	<b>5.502 €</b>
<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>7.398 €</b>
<b>Ahorro Mantenimiento por Año</b>	<b>118 €</b>
<b>Ahorro Energético por Año</b>	<b>344 €</b>
<b>AHORRO TOTAL ANUAL</b>	<b>462 €</b>

Tabla 24 Ahorro energía y mantenimiento

Como se puede apreciar tanto en las tablas como en el gráfico, el ahorro energético es sustancial, este aspecto no es importante solo económicamente, sino que también repercute en el medio ambiente y en la sostenibilidad.

Una vez hechos todos los cálculos, se puede ver que la tecnología LED no es solo más eficiente sino que también es más limpia. A continuación se muestran los Kg de CO<sub>2</sub> que produce cada luminaria de forma indirecta en función de la potencia consumida:

$$PEII(\text{Instalación}) = (\text{Rendimiento Centrales eléctricas en España}) \cdot \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kW}} \cdot (\text{Potencia instalada}) \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

Por consiguiente para cada instalación se tiene que:

$$PEII(OD - 3290\ 54W) = 0,343 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kW}} \cdot 5223 \frac{\text{kW}}{\text{año}} = 1791\ \text{kg de CO}_2/\text{año}$$

$$PEII(\text{Luminaria LED}) = 0,343 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kW}} \cdot 2948 \frac{\text{kW}}{\text{año}} = 1011\ \text{kg de CO}_2/\text{año}$$

Potencia Instalada	Emisiones
<b>GREEN+</b>	<b>CO2</b>
<b>43,60%</b>	<b>780 kg/año</b>
	<b>12.480 kg/vida útil</b>

Tabla 25 Emisiones reducidas respecto de la instalación con las luminarias OD3290 al año y en el periodo de vida útil de la instalación

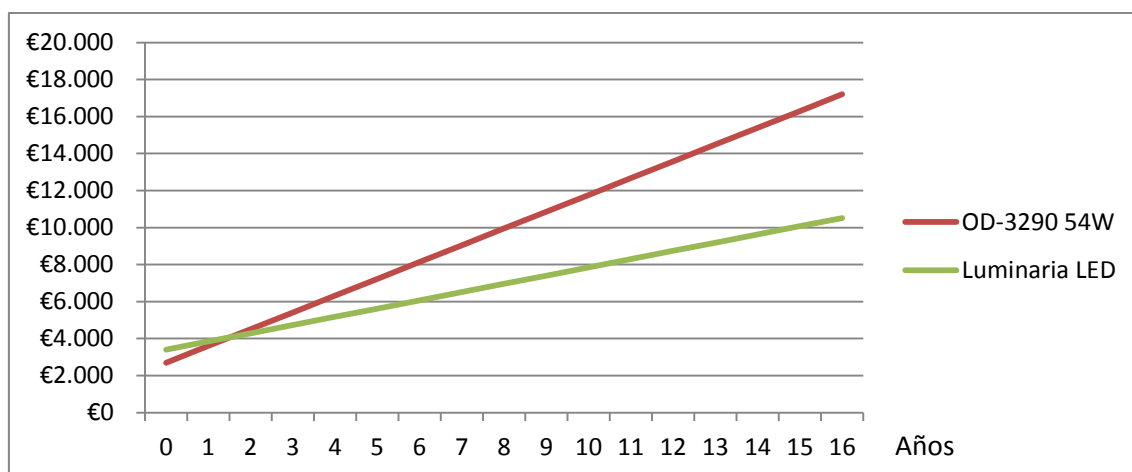
Una vez que se tienen los costes totales, se puede calcular la amortización de la inversión total durante el periodo de vida útil de las luminarias. A continuación se calcula el pay-back de la instalación de tecnología LED con respecto a la instalación de tecnología de fluorescencia, partiendo de los costes anuales totales de cada proyecto y del ahorro anual de la tecnología LED en comparación con la convencional.

AMORTIZACIÓN POR INSTALACIÓN	OD-3290 54W	Luminaria LED
<b>Inversión inicial</b>	<b>2.697 €</b>	<b>3.400 €</b>
<b>Costes mantenimientos y energéticos al año</b>	<b>907 €</b>	<b>445 €</b>
<b>Amortización (años)</b>	<b>1,52</b>	
<b>Ahorro a los 16 años</b>	<b>6.695 €</b>	

Tabla 26 Amortización de la instalación



Teniendo en cuenta los gastos totales en cada instalación por año, se obtiene el siguiente gráfico.



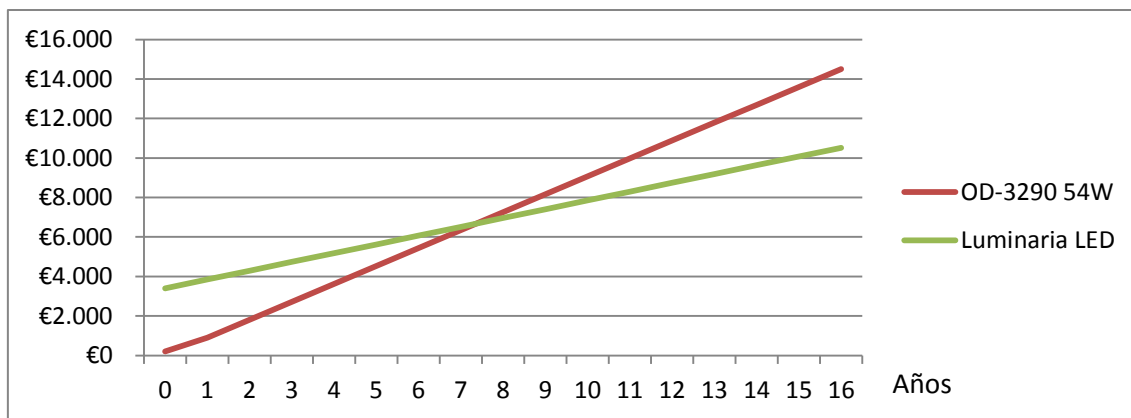
Gráfica 6 Flujo de caja en años

Como se puede apreciar en la gráfica 6, a partir del año y medio el flujo de caja empieza a ser mayor en la luminaria de tecnología convencional que en la LED, siendo éste, tras 16 años, 6695€ mayor que el flujo de caja de la instalación LED.

En el caso de comparar la inversión con la renovación de una instalación ya existente, la amortización aumenta siete años y cuatro meses, pues solo hay gasto inicial en la tecnología LED.

AMORTIZACIÓN POR RENOVACIÓN	OD-3290 54W	Luminaria LED
<b>Inversión inicial</b>	<b>0 €</b>	<b>3.400 €</b>
<b>Costes mantenimientos y energéticos al año</b>	<b>907 €</b>	<b>445 €</b>
<b>Amortización (años)</b>	<b>7,36</b>	
<b>Ahorro a los 16 años</b>	<b>3.998 €</b>	

Tabla 27 Amortización por renovación



Gráfica 7 Flujo de caja en años por renovación

Como muestra la gráfica anterior, a partir de los siete años y cuatro meses el flujo de caja empieza a ser mayor en la luminaria de tecnología convencional que en la LED, siendo éste tras 16 años 3998€ mayor que el flujo de caja de la instalación LED.

Utilizando las respectivas ecuaciones mencionadas anteriormente se obtiene la tabla 28.

<b>Rendimiento de la inversión (ROI)</b>	<b>197</b>
<b>Rentabilidad promedio (TIR)</b>	<b>11%</b>

Tabla 28 Rentabilidad de la inversión

Para calcular el ROI se ha considerado como activo total, la inversión inicial realizada para la instalación de las luminarias LED, y el ahorro total durante la vida útil de la instalación como beneficio.

Para el cálculo del TIR se ha tomado como beneficio el ahorro total por año de la instalación.

## Capítulo 7. Resultados, Conclusiones y Pliego de Condiciones.

En el siguiente apartado se resumen las características de la luminaria LED a partir de los ensayos realizados por el laboratorio.

### 7.1 Resultados de la luminaria LED.

Se analiza a continuación las propiedades características y las fotométricas.

#### 7.1.1 Propiedades características.

A continuación se muestra una tabla con las características de la luminaria.

Propiedades características	Luminaria LED
Potencia total consumida [W]	38
Eficiencia [lm/W] de la luminaria LED	80
Flujo de salida luminaria [lm]	3023
CCT [K]	3000
CRI/Ra	90

Tabla 29 Propiedades características

Como se puede observar, la eficiencia de la luminaria LED es de 80 lm/W, muy alta en comparación con otras tecnologías como pueden ser la fluorescencia de 60 lm/W o la incandescencia de 15 lm/W. Esto supone un gran ahorro energético y una reducción considerable del potencial de efecto invernadero indirecto.

#### 7.1.2 Fotometría.

Como se aprecia en la siguiente gráfica, la intensidad lumínica máxima alcanzada es de 357 cd/klm. Este valor no es muy alto puesto que posee pocos grados de apertura, es decir, que la luz está repartida en una gran superficie.

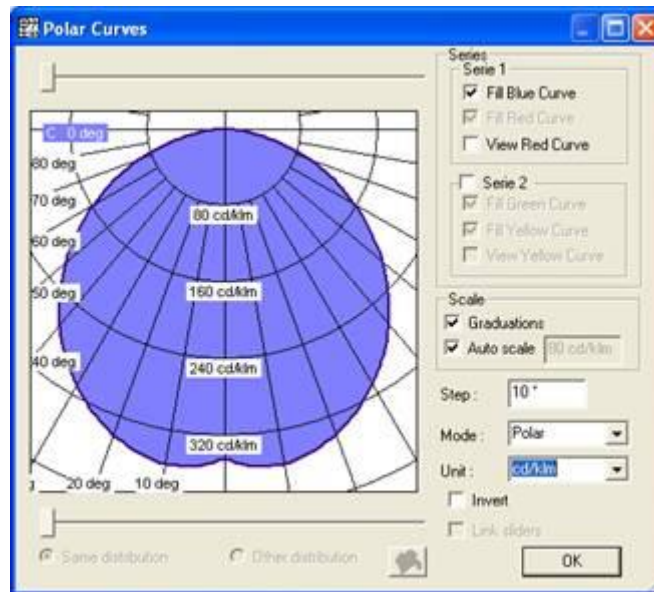


Figura 139 Fotometría luminaria LED

## 7.2 Análisis económico.

Los datos más representativos obtenidos tras el estudio económico son los siguientes:

- La amortización de la instalación LED se produce al año y medio. Si la inversión se realiza para renovar una instalación antigua ya existente, la amortización se alarga a los 7 años y 4 meses. Puesto que la vida de la luminaria es de 16 años es un proyecto en que conviene invertir.
- Otro factor a destacar es la reducción del consumo eléctrico en un 43,6%, lo que produce una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas causadas por la eficiencia de los métodos de producción de electricidad.

## 7.3 Conclusiones.

Una vez realizado este proyecto, sobre el guiado de la luz y la tecnología LED, se llega a las siguientes conclusiones:

- El uso de LEDs mejora la eficiencia de las luminarias con respecto a otras tecnologías y baja considerablemente el consumo de las mismas. Además es una tecnología aún en desarrollo, por lo que cada año se logran alcanzar características y niveles lumínicos mejores.
- La sustitución de antiguas luminarias por nueva tecnología LED es cada vez más rentable en los casos donde se utiliza mucho y durante gran parte del día. Esto se debe, entre otros factores, a su bajo consumo, a la larga vida del LED y a la no necesidad de mantenimiento y sustitución de los mismos.

- El empleo del metacrilato serigrafiado para el guiado de la luz permite reducir en gran medida las dimensiones de las luminarias, distribuir la luz de forma uniforme y aumentar la superficie emisora de luz. Además admite posicionar los LEDs no solo directamente en la dirección en la que se proyecta la luz, si no perpendicular a ésta.
- Debido al alto porcentaje de electricidad destinada a la iluminación, -más del 20% del total-, al aumento del precio de la misma, al de su consumo y a las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera el producirla; aparece la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que reduzcan el consumo y sean limpias para el medio ambiente.

## **7.4 Pliego de condiciones.**

En este apartado se muestran las condiciones generales y las especificaciones técnicas que debe cumplir la luminaria para poder realizar dicho proyecto.

### **7.4.1 Condiciones generales**

A continuación se hace referencia a todas las normas y especificaciones técnicas que debe cumplir la luminaria para que el proyecto se realice correctamente. Por consiguiente se tratarán en este apartado los aspectos básicos para el diseño desarrollo y creación de una luminaria eficiente de tecnología LED.

Para la creación de esta luminaria hay que regirse por las especificaciones que se muestran en este pliego de condiciones, por lo que el diseño de la luminaria, el montaje de la misma, la instalación y el material de sus componentes deberán cumplir las condiciones y la normativa especificada.

Se deberán tener en cuenta las especificaciones y la documentación que se muestra en el anexo para la correcta realización del proyecto. Los planos representan las características y dimensiones, tanto del conjunto como de las piezas, fielmente.

Se deberá realizar el proyecto atendiendo a los siguientes documentos oficiales:

- UNE-EN 62031:2009. Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad.
- UNE-EN 60598:2009. Luminarias. Requisitos generales y ensayos.
- UNE 12464-1:2012. Iluminación. Iluminación de lugares de trabajo.
- Instrucciones técnicas complementarias al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
- Código Técnico de la Edificación (CTE)
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

### **7.4.2 Especificaciones Técnicas**

En el siguiente apartado se muestran las características técnicas que tiene que cumplir los diferentes componentes de la luminaria.

Los componentes deberán poseer las dimensiones especificadas en los planos.

#### **A. Especificaciones del conjunto**

La luminaria está formada por los siguientes elementos:

- Un cuerpo formado por los perfiles de aluminio unidos entre sí por unas escuadra de acero. En dicho cuerpo irán montados los componentes ópticos.
- Dos placas LED situadas en el perfil de aluminio como fuente de iluminación.
- Un equipo que suministra corriente continua constante para alimentar las placas LED.
- Hilo para conectar las placas LED a la fuente de alimentación y un elemento antitracción para evitar que la conexión a la Placa LED se pueda soltar.

La luminaria deberá funcionar correctamente bajo las condiciones de trabajo para las que fue diseñada y ensayada.

#### **B. Especificaciones de materiales y equipos**

Los materiales deberán reunir las condiciones que se especifican para cada uno de los elementos empleados.

El material de cada elemento debe ser el especificado en el plano de dicha pieza.

#### **C. Cableado**

Las placas irán conectadas al driver mediante una manguera de sección de hilo de 0,25mm<sup>2</sup> enganchado de tal forma que no produzca peligro al instalador y a las personas de mantenimiento.

#### **D. Tornillería**

La tornillería empleada en la luminaria será la usada por la empresa Odel-lux S.A., de acuerdo con la normativa y con recubrimiento superficial especificado en la normativa de luminarias para prevenir la corrosión.

#### **E. Montaje e instalación**

El montaje de la luminaria se realizará de acuerdo con las especificaciones del plano de conjunto y los controles de calidad de Odel-lux S.A.

La instalación de las luminarias deberá ser realizada exclusivamente por personal cualificado para dicha instalación

#### **F. Testeo y calidad**

Una vez montado el conjunto deberá ser comprobado por el departamento de calidad el cual emitirá un informe de conformidad, en el caso de que la luminaria no cumpla con las exigencias de calidad se especificarán las razones para su posterior solventación.

#### **G. Condiciones de entrega**

El plazo de entrega estará determinado por el pedido realizado por parte de Lledó Iluminación S.A., empresa líder del grupo, a la empresa filial Odel-lux S.A. de forma que se entregará el pedido en los almacenes de Lledó Iluminación S.A. en el plazo requerido por está.

#### **H. Condiciones de pago**

Los pagos serán abonados por parte del cliente a la empresa Lledó Iluminación S.A. según lo estipulado en el pedido, se pagará el PVP del producto de inmediato o a mes vencido dependiendo de cómo elija el cliente.

## Capítulo 8. Presupuesto

En este capítulo se muestra el presupuesto desglosado calculado por el departamento de producción de Odel-Lux S.A. de la luminaria desarrollada en el proyecto.

Hay que tener en cuenta que el presupuesto se ha calculado para un número abultado de luminarias.

A continuación se muestra el presupuesto desglosado de la luminaria en función de su estructura.

Flat Panel 1230x148			
Lista de materiales dentada	Requerido	Número de dibujo	Precio total unidades
Flat Panel 1230x148	1	69700100-00	
__ PL892457010830 Placa Led L600x10 830	2	P076513-00	32,95
__ 030300651 Tornillo 3,5x5,5 Din7981b-Z	2		0,12
__ 030302014 Embalaje 1300x200x60	1	P010054-P125	0,76
__ 030304513 Cinta Scotch Y-9473 55m X 12mm	1		0,95
__ 030304889 Cierracables Steab-5228 BI	1		0,36
__ 030306144 Pasac. D9,5 E1,6 Isc01012000019	1		0,43
__ 030307706 Escuadra Dentada Flat Panel	4	P076664-00	8,1
__ 030307708 Flat Panel 1230x148mm	1	P008303-00	32,1
__ 030307865 Difusor Opal 1230x148	1	697000002-00	13,43
__ 030308243 Driver Maxi Jolly 80 Slim HV	1		22,89
__ 030309015 Hoja Instrucciones Flat Panel	1		0,02
__ 6970ALES120700 Al Especular Flat Panel 1207mm	1	697000007-00	2,23
__ 6970ALES124000 Al Especular Flat Panel 124mm	2	697000007-00	1,64
__ 6970000000AL12 Trasera Chapa Al Flat 1230	1	697000006-00	2,42
__ 6970000000SB12 Super Blanco Flat Panel	1	697000004-00	5,28
__ 697001480000NM Perfil Fl. Pa.Ingle. 45ª 148Nm	2	697000001-00	1,95
__ 030203153 Pin.Polipos 7 Ne.Ma.Tex.803066	0,02		0,31
__ 69700148000000 Perfil Fl. Pa.Ingle. 45ª 148	2	697000001-00	1,64
__ 030202650 Perfil Flat Panel	2	P026874-00	0,84
__ 697012300000NM Perfil Fl. Pa.Ingle. 45ª 1230Nm	2	697000001-00	8,74
__ 030203153 Pin.Polipos 7 Ne.Ma.Tex.803066	0,1		1,53
__ 69701230000000 Perfil Fl. Pa.Ingle. 45ª 1230	2	697000001-00	7,21
__ 030202650 Perfil Flat Panel	2	P026874-00	6,41



LUMINARIA EFICIENTE DE LED DE BAJO PERFIL CON SISTEMA DE GUIADO ÓPTICO.  
Juan Estanislao López García

__ 000000000FAN04Elem. Com. Emb. Prod. Led	1		
__ 030302780 Caerton Reciclado TriturADO	0		0
__ 030303085 Etiqueta Recogida Selectiva	1		0,1
__ 030303220 Etiqueta de Control 26x12	1		0,15
__ 030303228 Etq. Emb. 100x50 B.Mate Rectan	1		0,15
__ 030304891 Cinta Adh. 66x38 Ref.412 transp	1		0,3
__ 030308175 Etiqueta Potencia Trans. Staff	1		0,5
		Total Luminaria	135,57

# Bibliografía

## Referencias

- [1] INDALUX. La luz. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [2] INDALUX. Magnitudes luminosas. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [3] INDALUX. Iluminación Interior e industrial. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [4] INDALUX. Lámparas. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [5] NEUDECK, GEROLD W. *El diodo PN de unión*. [Buenos Aires, Argentina]. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA, 1994.
- [6] IDAE. Guías técnicas de eficiencia energética en iluminación. [IDAE, 2001].
- [7] INDALUX. Luminarias. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [8] INDALUX. Propiedades ópticas de la materia. *Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [9] INDALUX. Equipos auxiliares de regulación y control. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [10] INDALUX. Iluminación Viaria. *Manual Luminotecnia*. [Valladolid, España]. INDALUX, 2002.
- [11] Manual de Diseño. *Cómo Optimizar un Diseño con Perfiles de Aluminio*. [Madrid, España]. SAPA PROFILES AB, 2009.
- [12] *Tutorial Avanzado de Solidworks Flowsimulation 2010*, Diciembre 2012.
- [13] DIEZ, María Felisa. *Apuntes de la asignatura de Gestión Empresarial*. Texinfo ed.1.0. [Leganés, Madrid]: Universidad Carlos III de Madrid, 2010, Julio 2014.

## Enlaces

- Grupo Lledó S.A. 2013 [consulta 7-11-2013]. Disponible en: [www.lledosa.com](http://www.lledosa.com).
- Philips Iluminación Ibérica. 2014 [consulta 21-3-2014]. Disponible en: [www.iluminación.philips.es](http://www.iluminación.philips.es).
- OSRAM. 2014 [consulta 15-2-2014]. Disponible en: [www.osram.es](http://www.osram.es).
- TRIDONIC. 2014 [consulta 2-4-2014]. Disponible en: [www.tridonic.es](http://www.tridonic.es).
- ELT. 2014 [consulta 27-4-2014]. Disponible en: [www.elt.es](http://www.elt.es).
- TCI. 2014 [consulta 18-1-2014]. Disponible en: [www.tcisaronno.net](http://www.tcisaronno.net).
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo: 2013 [consulta 5-12-2013]. Disponible en: [www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/LegislacionNacional.aspx](http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/LegislacionNacional.aspx).

## Anexos

### ANEXO A: Tabla de propiedades del 6 FV NATURAL 2802 SR

#### **DILAMID® 6 FV NATURAL 2802 SR**

POLYAMIDE 6 NATURAL, 30% GLASS FIBER REINFORCED, GOOD MECHANICAL PROPERTIES. GENERAL PURPOSE.

##### TECHNICAL DATA SHEET

PROPERTIES	UNITS	METHOD	VALUES
------------	-------	--------	--------

##### PHYSICAL

DENSITY	g./cm <sup>3</sup>	ASTM D792	1,36
WATER ABSORPTION <small>23 °C – 50% RH 24 hrs saturation</small>	%	ASTM D570	1.0 6,5
MOLD SHRINKAGE	%	ASTM D955	0,30÷0,50

##### MECHANICAL

TENSILE STRENGTH	MPa	ISO 527	170
ELONGATION AT BREAK	%	ISO 527	3
FLEXURAL STRENGTH	MPa	ISO 178	230
FLEXURAL MODULUS	MPa	ISO 178	8.200
IZOD <small>NOTCHED 23 °C</small>	J/m	ASTM D256	150

##### THERMAL

HDT <small>1.82 MPa</small>	°C	ISO 75	210
VICAT <small>49 N</small>	°C	ISO 306	220
UL 94 FLAMMABILITY <small>1,5mm</small>	Rating	UL 94	HB
LIMIT TEMPERATURE <small>20.000H</small>	°C	IEC 216	105
GLOW WIRE TEST <small>2mm</small>	°C	IEC 695-2-1	650

##### ELECTRICAL

CTI	V	IEC 112	500
DIELECTRIC STRENGTH	KV/mm	ASTM D149	21

## ANEXO B: Hoja de recogida selectiva de aparatos eléctricos y electrónicos

**Directiva UE 2002/96/EC (RAEE) – Directive UE 2002/96/EC (WEEE)**  
**EU-Richtlinie 2002/96/EC– Directive EU 2002/96/EC**  
**Directiva Europea 2002/96/EC – Direttiva UE 2002/96/EC**



### INFORMACIÓN PARA LOS USUARIOS

#### ESTE PRODUCTO ES CONFORME A LA DIRECTIVA 2002/96/EC.

El símbolo de la papelera tachada que se muestra en el aparato indica que el producto, al final de su vida útil y teniendo que ser tratado por separado de los residuos domésticos, ha de llevarse a un centro de recogida y reciclaje de equipos eléctricos y electrónicos o ha de entregarse al revendedor cuando se compra un nuevo equipo equivalente. El usuario es responsable de la entrega al final de la vida del equipo a las estructuras de recogida apropiadas. La recogida diferenciada apropiada para que el equipo en desuso se lleve a reciclar, se trate y elimine de manera medioambientalmente compatible contribuye a evitar posibles efectos negativos en el medio ambiente, en la salud y favorece el reciclaje de los materiales con los que está compuesto el producto. Para informaciones más pormenorizadas inherentes a los sistemas de recogida disponibles, diríjase al servicio local de eliminación de desechos, o la tienda en la que ha comprado el equipo.

### INFORMATION À L'ATTENTION DES USAGERS

#### CE PRODUIT EST CONFORME À LA DIRECTIVE EU 2002/96/EC.

Le symbole d'une poubelle barrée reporté sur l'appareil signifie que celui-ci à la fin de sa durée de vie normale ne doit pas être traité comme les déchets domestiques mais être porté à un centre de recyclage pour équipement électrique et électronique ou laissé au revendeur au moment de l'achat d'un nouvel appareil équivalent. Il est de la responsabilité de l'utilisateur lorsque l'appareil doit être éliminé, de le porter à l'endroit de collecte adéquat. La collecte différenciée correcte est nécessaire afin que l'appareil obsolète puisse être recyclé, traité et éliminé dans le respect de l'environnement: ceci permet d'éviter tout possible impact négatif sur l'environnement ou des risques pour la santé et de réutiliser les matériaux dont il est fait. Pour de plus amples informations sur les systèmes de collecte disponibles, veuillez vous adresser aux services locaux de gestion des déchets ou au magasin où vous avez acheté l'appareil.

### INFORMATION FOR USERS

#### THIS PRODUCT CONFORMS WITH EU DIRECTIVE 2002/96/EC

It carries the symbol of the crossed-out waste bin, which means that once its useful life is over it must be treated separately from other domestic waste: it must be taken to a recycling centre for electrical and electronic equipment, or taken back to a retailer and left there when a new equivalent device is purchased. The user is responsible, when the device is to be disposed of, for taking it to the appropriate collection point. Proper differentiated collection is necessary so that the obsolete device can be sent on for environmental friendly recycling, treatment and dismantling, in order to avoid any possible negative environmental impact or health risk and to allow the materials of which it is made to be re-used. More detailed information about available systems for collection may be obtained from the local waste disposal services, or from the shop from which the device was purchased.

### INFORMAZIONI AGLI UTENTI

#### QUESTO PRODOTTO È CONFORME ALLA DIRETTIVA 2002/96/EC.

Il simbolo del cestino barrato riportato sul apparecchio indica che il prodotto, alla fine della propria vita utile, dovendo essere trattato separatamente dai rifiuti domestici, deve essere conferito in un centro di raccolta differenziata per apparecchiature elettriche ed elettroniche oppure riconsegnato al rivenditore al momento dell'acquisto di una nuova apparecchiatura equivalente. L'utente è responsabile del conferimento dell'apparecchio a fine vita alle appropriate strutture di raccolta. L'adeguata raccolta differenziata per l'avvio successivo dell'apparecchio di smesso al riciclaggio, al trattamento e allo smaltimento ambientalmente compatibile contribuisce ad evitare possibili effetti negativi sull'ambiente, sulla salute e favorisce il riciclo dei materiali di cui è composto il prodotto. Lo smaltimento abusivo del prodotto da parte dell'utente è sanzionato dalla legge. Per informazioni più dettagliate inerenti i sistemi di raccolta disponibili, rivolgersi al servizio locale di smaltimento rifiuti, o al negozio in cui è stato effettuato l'acquisto.

### VERBRAUCHERINFORMATION:

#### DIESES PRODUKT ENTSPRICHT DER RICHTLINIE 2002/96/EC.

Das Symbol der durchgestrichenen Mülltonne auf dem Gerät besagt, dass das Produkt nach Ablauf seiner Lebensdauer vom Hausabfall getrennt entsorgt und in eine Sammelstelle zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten gebracht oder dem Händler beim Kauf eines neuen gleichwertigen Geräts zurückgegeben werden muss. Der Endverbraucher haftet für die Entsorgung des Altgeräts in den entsprechenden Sammelstellen. Die korrekte Abfalltrennung mit der anschließenden Bereitstellung des Altgeräts zur umweltverträglichen Verwertung und Entsorgung trägt dazu bei, schädliche Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit zu vermeiden und begünstigt das Recycling der Materialien, aus denen das Produkt besteht. Für genauere Auskünfte über die verfügbaren Abfallsammlingsysteme wende man sich an den örtlichen Müll-beseitigungsdienst oder an das Geschäft, in dem man es gekauft hat.

### INFORMAÇÕES PARA OS USUÁRIOS

#### ESTE PRODUTO ESTÁ EM CONFORMIDADE COM A DIRECTIVA 2002/96/EC.

O símbolo da cesta de lixo barrada indicada no aparelho indica que o produto, no fim de sua vida útil, tendo que ser tratado separadamente do lixo doméstico, deverá ser entregue a um centro de coleta diferenciada para aparelhagens elétricas e eletrônicas ou entregue de volta ao revendedor quando da compra de uma nova aparelhagem equivalente. O usuário é responsável pela entrega do aparelho, no fim de sua vida útil, às estruturas de coleta idóneas. Uma adequada coleta diferenciada é necessária de modo que o equipamento obsoleto possa ser enviado a estruturas de reciclagem, tratamento e despejo ambientalmente compatíveis, visando evitar possíveis efeitos negativos para o ambiente ou para a saúde e favorecer a reciclagem dos materiais que compõem o produto. Para informações mais detalhadas inerentes aos sistemas de coleta disponíveis, dirigi-se ao serviço local de coleta de lixo ou à loja onde o equipamento foi adquirido.

030303169



FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA										
	EN LA PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	PIEZA MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL										
00 <input type="checkbox"/>	AUSENCIA DE DEFORMACIONES, MARCAS Y DEFECTOS	SIUNE 06020	4%										
01 <input type="checkbox"/>	PRUEBA FUNCIONAL Y ACABADO SEGUN MUESTRA APROBADA	SIUNE 06020	1.5%										
02 <input type="checkbox"/>	COTAS DE INSPECCIÓN	SIUNE 06020	1.5%										
03 <input type="checkbox"/>	FRECUENCIA DE VERIFICACION PARA CADA O.T.	---CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO---	---PIEZA MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL---										
04 <input type="checkbox"/>	LA 1ª PIEZA, LA ULTIMA Y CADA HORA	EL FALLO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPERIOR A	---PIEZA MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL/RESTO DE PIEZAS MUESTRAL---										
05 <input type="checkbox"/>													
06 <input type="checkbox"/>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud del corte (mm)</th> <th>Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1530</td> <td>697015300000C0</td> </tr> <tr> <td>1230</td> <td>697012300000C0</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>697006000000C0</td> </tr> <tr> <td>148</td> <td>697001480000C0</td> </tr> </tbody> </table>			Longitud del corte (mm)	Código	1530	697015300000C0	1230	697012300000C0	600	697006000000C0	148	697001480000C0
Longitud del corte (mm)	Código												
1530	697015300000C0												
1230	697012300000C0												
600	697006000000C0												
148	697001480000C0												

**Materia Prima: 030202650**

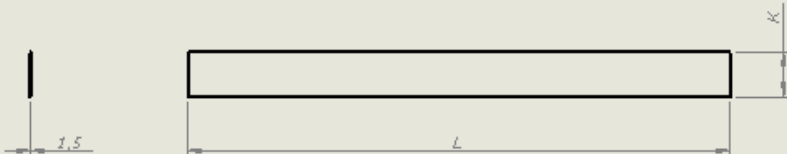
7		8	
5		6	
3		4	
1		2	

ED.	FECHA	MODIFICACIONES	ED.	FECHA	MODIFICACIONES
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>escala: 1:1</p> <p>SUSTITUIDO POR:</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>DESARROLLO:</p> <p>TESTAMENTO:</p> <p><b>Perfil Flat Panel</b></p> <p><b>Ingletado a 45°</b></p> </div> </div>					

MATERIAL	
FECHA	NOMBRE
09/09/2013	J. López
FECHA	NOMBRE
"	M. Ibáñez
69700001	00

FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	PIEZA MEDIDA / RESTO DE PIEZAS MEDIDAS / PIEZAS NO MEDIDAS
PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	PIE DE REGL. 1ª PIEZA
PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REGL. GONIÓMETRO
FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T. LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA	---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO--- EL FALLO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONE... RECHAZO DE LA PIEZA RECHAZO DE TODAS LAS PIEZAS		




  

Anchura de Corte (mm)	Longitud del corte (mm)	Código
124,9	1206,9	69700015301480

7			8		
5			6		
3			4		
1			2		
ED.	FECHA	MODIFICACIONES	ED.	FECHA	MODIFICACIONES



escala: 1:15

SUSTITUIR A:

SUSTITUIDO POR:

DESARROLLO:

TROQUELEADO:

**Difusor Opal**

MATERIAL:

PESO:

FECHA	MONEDA
01/09/2013	J. López
"	M. J. López

Nº 69700002

	FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
		EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA D.T.	PIEZA DE MEDIDA DE LA D.T.
00 <input type="checkbox"/>	PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	PIE DE REGLA 1ª PIEZA
	REGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REGLA GONIÓMETRO
01 <input type="checkbox"/>	FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T.: LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA ---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO--- EL FOLIO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONERÁ...			
02 <input type="checkbox"/>				
03 <input type="checkbox"/>				
04 <input type="checkbox"/>				
05 <input type="checkbox"/>				
06 <input type="checkbox"/>				

Anchura de corte (mm)	Longitud del corte (mm)	Código
125	1206,1	6970SB12061250

ED. FECHA	MODIFICACIONES	ED. FECHA	MODIFICACIONES

odelux		Super Blanco Flat Panel	
ESCALA: 1:10			
SUSTITUIDO A:			
SUSTITUIDO POR:			

MATERIAL: Zinc Electro		PESO:	
FECHA	NOMBRE		
01/09/2013	J. López		
	M. Ibáñez		
Nº	69700004	CO.	00



LUMINARIA EFICIENTE DE LED DE BAJO PERFIL CON SISTEMA DE GUIADO ÓPTICO.  
Juan Estanislao López García

FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA																																																
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA D.T.	PIEZA MEDIDA/VERIFICADA/RECHAZADA/RECHAZADA																																																
PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	PIE DE CAL. 1ª PIEZA																																																
PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE CAL. GOMÓMETRO																																																
<p>01 <input type="checkbox"/> FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA D.T.: LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA</p> <p>02 <input type="checkbox"/></p> <p>03 <input type="checkbox"/></p> <p>04 <input type="checkbox"/></p> <p>05 <input type="checkbox"/></p> <p>06 <input type="checkbox"/></p>																																																			
<p>---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO---</p> <p>SE ACEPTA SI AL MENOS SE RECHAZA UNA PIEZA POR DEFECTO</p> <p>SE RECHAZA SI AL MENOS SE ACEPTA UNA PIEZA POR DEFECTO</p>																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud del corte (mm)</th> <th>Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1200</td> <td>6970ES12002000</td> </tr> </tbody> </table>				Longitud del corte (mm)	Código	1200	6970ES12002000																																												
Longitud del corte (mm)	Código																																																		
1200	6970ES12002000																																																		
<p>Materia Prima: 030307705</p>																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ED.</th> <th>FECHA</th> <th>MODIFICACIONES</th> <th>ED.</th> <th>FECHA</th> <th>MODIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				ED.	FECHA	MODIFICACIONES	ED.	FECHA	MODIFICACIONES	7			8			5			6			3			4			1			2																				
ED.	FECHA	MODIFICACIONES	ED.	FECHA	MODIFICACIONES																																														
7			8																																																
5			6																																																
3			4																																																
1			2																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO</th> <th colspan="2">DESARROLLO</th> <th colspan="2">MATERIALES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO</th> <th colspan="2">DESARROLLO</th> <th colspan="2">MATERIALES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO</th> <th colspan="2">DESARROLLO</th> <th colspan="2">MATERIALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2"> </td> <td colspan="2"> <p>Espuma Flat Panel</p> </td> <td colspan="2"> <p>69700005</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>ESCALA: 1:2</p> </td> <td colspan="2"> <p>TRATAMIENTO:</p> </td> <td colspan="2"> <p>FECHA: 10/09/2013</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>SUSTITUIR A:</p> </td> <td colspan="2"> <p>FECHA:</p> </td> <td colspan="2"> <p>NOMBRE: J. López</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>SUSTITUIDO POR:</p> </td> <td colspan="2"> <p>FECHA:</p> </td> <td colspan="2"> <p>NOMBRE: M. López</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>FECHA:</p> </td> <td colspan="2"> <p>FECHA:</p> </td> <td colspan="2"> <p>NOMBRE:</p> </td> </tr> </tbody> </table>				DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES		DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES		DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES				<p>Espuma Flat Panel</p>		<p>69700005</p>		<p>ESCALA: 1:2</p>		<p>TRATAMIENTO:</p>		<p>FECHA: 10/09/2013</p>		<p>SUSTITUIR A:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE: J. López</p>		<p>SUSTITUIDO POR:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE: M. López</p>		<p>FECHA:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE:</p>	
DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES																																															
DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES																																															
DISEÑO DE PRODUCTO Y SERVICIO		DESARROLLO		MATERIALES																																															
		<p>Espuma Flat Panel</p>		<p>69700005</p>																																															
<p>ESCALA: 1:2</p>		<p>TRATAMIENTO:</p>		<p>FECHA: 10/09/2013</p>																																															
<p>SUSTITUIR A:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE: J. López</p>																																															
<p>SUSTITUIDO POR:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE: M. López</p>																																															
<p>FECHA:</p>		<p>FECHA:</p>		<p>NOMBRE:</p>																																															

	FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
		EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	VERIFICACIÓN DE LA O.T. (VERIFICACIÓN DE LA O.T.)
00 <input type="checkbox"/>	PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	PIE DE REI. 1ª PIEZA
	PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REI. GONIÓMETRO
01 <input type="checkbox"/>	FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T. LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA	---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHUZO--- EL FALLO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONDRÁ EL FALLO EN TODAS LAS CARACTERÍSTICAS.		
02 <input type="checkbox"/>				
03 <input type="checkbox"/>				
04 <input type="checkbox"/>				
05 <input type="checkbox"/>				
06 <input type="checkbox"/>				

Anchura de corte (mm)	Longitud del corte (mm)	Código
145,5	1227,5	6970AL12271450

7		8	
5		6	
3		4	
1		2	

ED. FECHA	MODIFICACIONES	ED. FECHA	MODIFICACIONES
-----------	----------------	-----------	----------------

ESCALA: 1:5

SUSTITUIR A:

SUSTITUIDO POR:

DESARROLLO:

TRATAMIENTO:

**Trasera Al Flat Panel**

MATERIAL: Grasa 60/70mm	
PESO:	
FECHA	NOMBRE
09/09/2013	J. López
Nº	ED.
69700006	00

	FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
		EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA D.T.	PRELIMINAR/DEFINITIVO/OTRO
00 <input type="checkbox"/>	PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	PIE DE REE. 1ª PIEZA
	PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REE. GONIÓMETRO
01 <input type="checkbox"/>	FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T.: LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA			
02 <input type="checkbox"/>	---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO--- EL FOLIO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONIDA			
03 <input type="checkbox"/>				
04 <input type="checkbox"/>				
05 <input type="checkbox"/>				
06 <input type="checkbox"/>				

Longitud del corte (mm)	Código
1207	6970ALES120700
124	6970ALES124000

7		8	
5		6	
3		4	
1		2	
ED. FECHA	MODIFICACIONES	ED. FECHA	MODIFICACIONES

 escala: 2:1 SUSTITUIDO A: SUSTITUIDO POR:	DIMENSIONES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE LA LUMINARIA DE BAJA PERFILES	DESARROLLO: TRATAMIENTO:	MATERIAL: Aluminio 6063	
	medidas nominales ±0,3 ±0,2 ±0,3 ±0,4 ±0,6 ±1	medidas nominales ±0,3 ±0,2 ±0,3 ±0,4 ±0,6 ±1	medidas nominales ±0,3 ±0,2 ±0,3 ±0,4 ±0,6 ±1	medidas nominales ±0,3 ±0,2 ±0,3 ±0,4 ±0,6 ±1
	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10
	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10	medidas nominales longitudinales máximas ±10 ±30 ±20 ±10

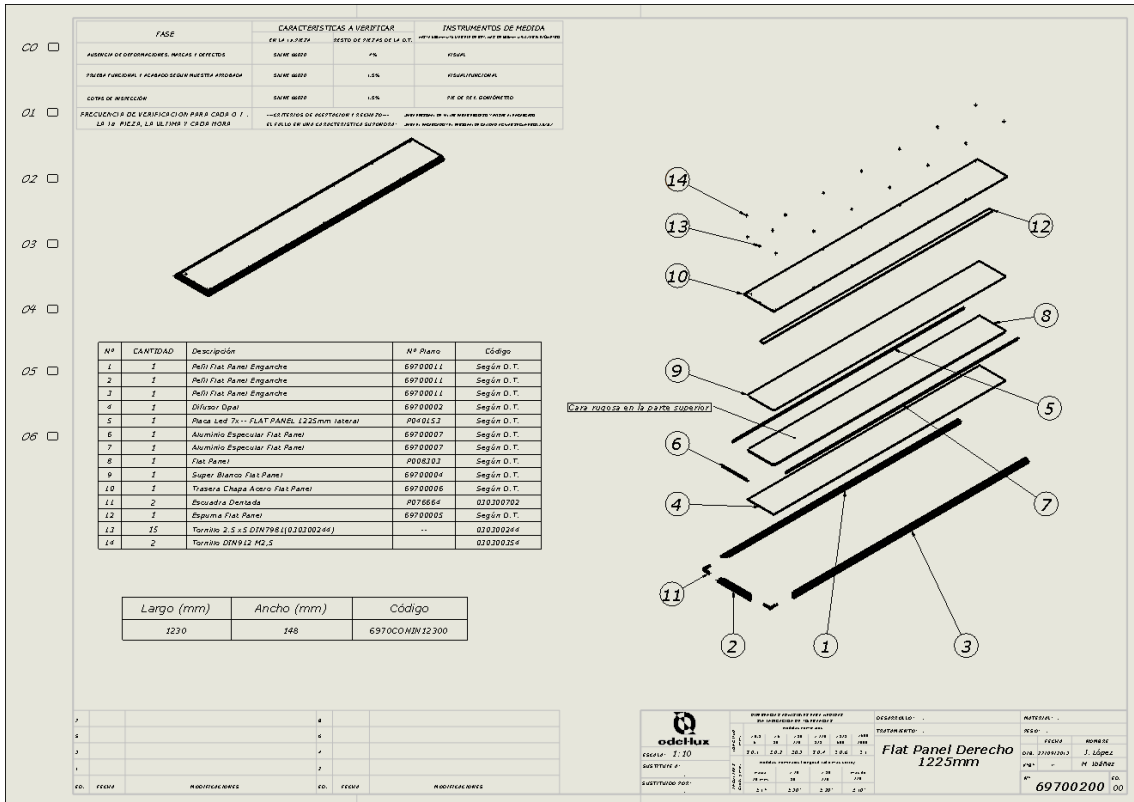
  

<b>Aluminio Especcular Flat Panel</b>		PESO:
FECHA	NOMBRE	
09/09/2013	J. López	
FECHA	NOMBRE	
	M. Ibáñez	
Nº	69700007	CO. 00



FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	
00 <input type="checkbox"/> <b>FUNCIONAR</b>	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	SE DE REF. 1ª PIEZA
<b>PLGAR</b>	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	SE DE REF. GONIÓMETRO
01 <input type="checkbox"/>	FRECÜENCIA DE VERIFICACION PARA CADA O.T. LA 1ª PIEZA, LA ULTIMA Y CADA HORA		
02 <input type="checkbox"/>	---CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO--- EL FALLO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONDRÁ		
03 <input type="checkbox"/>	JURY RESOLV. DE VÍFICACIONES Y RECHAZOS RECHAZO POR FALTA DE CONCORDANCIA DE MEDIDAS		
04 <input type="checkbox"/>			
05 <input type="checkbox"/>			
06 <input type="checkbox"/>			
7			8
5			6
3			4
1			2
ED. FECHA	MODIFICACIONES		ED. FECHA MODIFICACIONES
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>escala: 1:1</p> <p>SUSTITUIR A:</p> <p>SUSTITUIDO POR:</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>DESARROLLO:</p> <p>TRATAMIENTO:</p> <p><b>Anclaje Flat Panel Continuo + Tornillo</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>MATERIAL: "Grado 304" AISI 304 (2mm)</p> <p>PESO:</p> <p>FECHA: 26/09/2013</p> <p>REVISOR: J. López</p> <p>PROY: M. 104762</p> <p>Nº: 69700009</p> <p>ED. 00</p> </div> </div>			

Juan Estanislao López García



Juan Estanislao López García

Cara Rugosa en la parte superior

Cara rugosa en la parte superior

FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	CON LA 1ª PIEZA
PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REI. 1ª PIEZA
PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	PIE DE REI. GONIÓMETRO

00 ☐

01 ☐ FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T.: LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA

02 ☐

03 ☐

04 ☐

05 ☐

06 ☐

Anchura de corte (mm)	Longitud del corte (mm)	Código
125	1206	030307707

7		8	
5		6	
3		4	
1		2	

ED.	FECHA	MODIFICACIONES	ED.	FECHA	MODIFICACIONES

		<b>Metacrilato Serigrafiado</b>		<b>P008303</b>	
--	--	---------------------------------	--	----------------	--



FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
	EN LA PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA D.T.	
AUSENCIA DE DEFORMACIONES, MARCAS Y DEFECTOS	SIJUNE 60020	4%	VISUAL
PRUEBA FUNCIONAL Y ACABADO SEGUN NUESTRA APROBACION	SIJUNE 60020	1.5%	VISUAL/FUNCIONAL
COTAS DE INSPECCIÓN	SIJUNE 60020	1.5%	PIE DE REI. GONIÓMETRO

01 ☐ FRECUENCIA DE VERIFICACION PARA CADA O.T. LA 1ª PIEZA, LA ULTIMA Y CADA HORA

02 ☐

03 ☐

04 ☐

05 ☐

06 ☐

7

5

3

1

ED. FECHA

MODIFICACIONES

8

6

4

2

ED. FECHA

MODIFICACIONES

**odelux**

ESCALA: 5:1

SUSTITUIDO A:

SUSTITUIDO POR:

DIFERENCIAS ADMISIBLES EN MEDIDAS DE FABRICACION

medidas verticales

	+ 0,3	+ 0	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3
mm	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3
	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,4	± 0,6	± 1

medidas horizontales, longitud total y máxima

	+ 0	+ 0	+ 0	+ 0
mm	0	0	0	0
	± 1	± 0,5	± 0,5	± 1

DESARROLLO

TRATAMIENTO

**Perfil Flat Panel**

MATERIAL: ALUMINIO

ACABADO:

FECHA	NOMBRE
06/09/2013	J. López
"	M. Ibáñez

Nº

**P026874**

CO.

00

LUMINARIA EFICIENTE DE LED DE BAJO PERFIL CON SISTEMA DE GUIADO ÓPTICO.  
Juan Estanislao López García

FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA																																																		
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.																																																			
00 <input type="checkbox"/> AUSENCIA DE DEFORMACIONES, MARCAS Y DEFECTOS	SNRY 60070	4%	VISUAL																																																		
PRUEBA FUNCIONAL Y ACABADO SEGUN NUESTRA APROBACION	SNRY 60070	1.2%	VISUAL Y FUNCIONAL																																																		
01 <input type="checkbox"/> COTAS DE INSPECCIÓN	SNRY 60070	1.2%	DE DE REF. GONIÓMETRO																																																		
02 <input type="checkbox"/> FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T. LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA	<p>---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO--- EL FALLO EN UNA CARACTERÍSTICA SUPONDRÁ</p> <p>SE RECHAZA LA PIEZA Y SE RECHAZA LA PIEZA A PROPOSITO SE RECHAZA LA PIEZA Y SE RECHAZA LA PIEZA A PROPOSITO</p>																																																				
03 <input type="checkbox"/>																																																					
04 <input type="checkbox"/>	<p><b>Espesor general: 1,3mm</b> <b>Longitud total: 3500mm</b> <b>Código: 030202653</b></p>																																																				
05 <input type="checkbox"/>	<p><u>Redondeos a 0.1mm de radio</u></p>																																																				
06 <input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> </tr> </table>			7		8		5		6		3		4		1		2																																			
7		8																																																			
5		6																																																			
3		4																																																			
1		2																																																			
ED. FECHA	MODIFICACIONES	ED. FECHA	MODIFICACIONES																																																		
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">   <b>odel-lux</b>                      Escala: 5:1                      SUSTITUIR A:                      SUSTITUIDO POR:                 </td> <td>                     DIFUSIVIDAD / DIFUSIVIDAD DE REF. MEDIDA                      20-100% (0.1-1.0) MEDIDA                 </td> <td>                     DESARROLLO:                      TRATAMIENTO:                 </td> <td>                     MATERIAL: P026884                 </td> </tr> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <th>LOGOTIPO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±0.1</td> <td>±0.2</td> <td>±0.3</td> <td>±0.4</td> <td>±0.5</td> <td>±0.6</td> <td>±1</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <th>MODIFICACIONES</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±1</td> <td>±2</td> <td>±3</td> <td>±4</td> <td>±5</td> <td>±6</td> <td>±7</td> </tr> </table> </td> <td>                     P026884                 </td> <td>                     00                 </td> </tr> </table>				 <b>odel-lux</b> Escala: 5:1 SUSTITUIR A: SUSTITUIDO POR:	DIFUSIVIDAD / DIFUSIVIDAD DE REF. MEDIDA 20-100% (0.1-1.0) MEDIDA	DESARROLLO: TRATAMIENTO:	MATERIAL: P026884	<table border="1"> <tr> <th>LOGOTIPO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±0.1</td> <td>±0.2</td> <td>±0.3</td> <td>±0.4</td> <td>±0.5</td> <td>±0.6</td> <td>±1</td> </tr> </table>	LOGOTIPO	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±1	<table border="1"> <tr> <th>MODIFICACIONES</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±1</td> <td>±2</td> <td>±3</td> <td>±4</td> <td>±5</td> <td>±6</td> <td>±7</td> </tr> </table>	MODIFICACIONES	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	P026884	00
 <b>odel-lux</b> Escala: 5:1 SUSTITUIR A: SUSTITUIDO POR:	DIFUSIVIDAD / DIFUSIVIDAD DE REF. MEDIDA 20-100% (0.1-1.0) MEDIDA	DESARROLLO: TRATAMIENTO:	MATERIAL: P026884																																																		
	<table border="1"> <tr> <th>LOGOTIPO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±0.1</td> <td>±0.2</td> <td>±0.3</td> <td>±0.4</td> <td>±0.5</td> <td>±0.6</td> <td>±1</td> </tr> </table>	LOGOTIPO	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±1	<table border="1"> <tr> <th>MODIFICACIONES</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>±1</td> <td>±2</td> <td>±3</td> <td>±4</td> <td>±5</td> <td>±6</td> <td>±7</td> </tr> </table>	MODIFICACIONES	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	P026884	00							
LOGOTIPO	1	2	3	4	5	6																																															
1	2	3	4	5	6	7																																															
±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±1																																															
MODIFICACIONES	1	2	3	4	5	6																																															
1	2	3	4	5	6	7																																															
±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7																																															

FASE	CARACTERÍSTICAS A VERIFICAR		INSTRUMENTOS DE MEDIDA
	EN LA 1ª PIEZA	RESTO DE PIEZAS DE LA O.T.	INSTRUMENTOS DE MEDIDA
00 <input type="checkbox"/> PUNZONAR	COTAS SIN LETRA	CON LA 1ª PIEZA	DE DE REF. 1ª PIEZA
01 <input type="checkbox"/> PLEGAR	COTAS SIN LETRA	COTAS SIN LETRA	DE DE REF. GONIÓMETRO
02 <input type="checkbox"/>			
03 <input type="checkbox"/>			
04 <input type="checkbox"/>			
05 <input type="checkbox"/>	<p>FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN PARA CADA O.T.: LA 1ª PIEZA, LA ÚLTIMA Y CADA HORA</p> <p>---CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO---</p> <p>---CÓDIGO DE VERIFICACIÓN Y FASE A RECHAZAR---</p> <p>---CÓDIGO DE VERIFICACIÓN Y FASE A RECHAZAR---</p>		
06 <input type="checkbox"/>			

Longitud del corte (mm)	Código
605	030308454

7		8	
5		6	
3		4	
1		2	
ED. FECHA	MODIFICACIONES	ED. FECHA	MODIFICACIONES

 <b>odelux</b> ESCALA: 1:1 SUSTITUIDO POR:	DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA	DESCRIPCIÓN DESCRIPCIÓN DESCRIPCIÓN	MATERIAL MATERIAL MATERIAL
	DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA VERIFICACIÓN DE LA PIEZA	DESCRIPCIÓN DESCRIPCIÓN DESCRIPCIÓN	MATERIAL MATERIAL MATERIAL

<b>Placa Led Flat Panel</b> Placa Led Flat Panel Placa Led Flat Panel	FECHA FECHA FECHA	NOMBRE NOMBRE NOMBRE
	09/09/2013 09/09/2013 09/09/2013	J. López J. López J. López
	M. Ibáñez M. Ibáñez M. Ibáñez	M. Ibáñez M. Ibáñez M. Ibáñez
	P040153 P040153 P040153	00 00 00

180

